Univerzita Karlova

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geografie

Studijní obor: Geografie a kartografie

Adam Cepník

Environmentální dopady jednotlivých způsobů dopravy

Environmental impacts of transport modes

Bakalářská práce

Vedoucí práce: RNDr. Tomáš Matějček, Ph.D.

Praha, 2021

Charles University

Faculty of Science

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 5. 5. 2021 .....

Adam Cepník

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval v první řadě doktoru Tomáši Matějčkovi za vedení mé práce, a především za jeho neutuchající vstřícnost po celou dobu, kdy práce vznikala. Dále patří velký dík docentu Janu Weinzettelovi za poskytnutí cenných dat z databáze EcoInvent, které umožnily zasadit celou práci do širšího rámce. Nakonec bych rád poděkoval všem, kteří mě podporovali v mém studiu, především pak mé rodině.

Abstrakt

Environmentální dopady dopravy jsou v současnosti často diskutovaným tématem, obzvlášť v souvislosti s trendem zvaným flygskam, jež nabádá k dobrovolnému odmítání letecké dopravy kvůli jejím environmentálním dopadům. Cílem práce je proto názorné srovnání emisí skleníkových plynů produkovaných různými dopravními prostředky ve třech modelových situacích z běžného života. Těmi jsou dojížďka do školy či zaměstnání, zahraniční cesta po souši a zaoceánská cesta. Algoritmy použité k výpočtu emisí v jednotlivých situacích jsou zároveň použity ke konstrukci interaktivního kalkulátoru v prostředí Microsoft Excel.

Klíčová slova: emise skleníkových plynů, osobní doprava, kalkulátor, flygskam, srovnání

Abstract

Environmental impacts of transport are currently often discussed, especially in relation to the so-called flygskam, which is a trend encouraging voluntary refusal of using air transport because of its environmental impacts. It is the target of this thesis to compare greenhouse gas emissions produced by various means of transport in three model situations from daily life. The model situations are commute to school or work, trip abroad on land and a transoceanic trip. Algorithms used to calculate the emissions in the individual situations are also used to construct an interactive emission calculator in Microsoft Excel environment.

Key words: greenhouse gas emissions, personal transport, calculator, flygskam, comparison

Seznam použitých zkratek

ČSA ..... České aerolinie
ČD ..... České dráhy
EI ..... EcoInvent
gCO2eq ..... gram ekvivalentu CO2
hrtkm ..... hrubý tunový kilometr
IMO ..... Mezinárodní námořní organizace
IPCC ..... Mezinárodní panel pro změnu klimatu
kgCO2eq ..... kilogram ekvivalentu CO2
NEDC ..... New European Driving Cycle
os ..... osoba
oskm ..... osobokilometr
RFI ..... radiative forcing index (index radiačního působení)
vlakokm ..... vlakokilometr
vozokm ..... vozokilometr
TEU ..... twenty-foot equivalent unit (jednotka udávající kapacitu kontejnerové lodi)
tkm ..... tunokilometr

Seznam příloh

Příloha č. 1: Kalkulátor osobních emisí skleníkových plynů v dopravě (na CD nosiči)

Seznam tabulek

Tabulka 1: Procenta příslušící cestujícím dle tří možných přepočtů 19
Tabulka 2: Přepočet prémiových sedadel na sedadla v economy class 20
Tabulka 3: Souhrnné výsledky výpočtů pro Scénář 1 32
Tabulka 4: Hodnoty osobních emisí pro různé typy letadel ve Scénáři 2 33
Tabulka 5: Hodnoty osobních emisí pro různé typy pohonu os. automobilu ve Scénáři 2 34
Tabulka 6: Souhrnné výsledky výpočtů pro Scénář 2 39
Tabulka 7: Souhrnné výsledky výpočtů pro Scénář 3 44
Tabulka 8: Data z databáze EcoInvent aplikovaná na podmínky Scénáře 1 45
Tabulka 9: Data z databáze EcoInvent aplikovaná na podmínky Scénáře 2 45
Tabulka 10: Data z databáze EcoInvent aplikovaná na podmínky Scénáře 3 45

Seznam map

Mapa 1: Průběh trasy Praha-Paříž pro jednotlivé dopravní prostředky ve Scénáři 2 40

Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma metodologie emisního kalkulátoru 17

Obrázek 2: Hodnoty dosazené do kalkulátoru při výpočtu emisí benzínového automobilu ve Scénáři 1 28

Obrázek 3: Hodnoty dosazené do kalkulátoru při výpočtu emisí dieselového automobilu ve Scénáři 1 28

Obrázek 4: Hodnoty dosazené do kalkulátoru při výpočtu emisí elektromobilu ve Scénáři 1. 29

Obrázek 5: Hodnoty dosazené do kalkulátoru při výpočtu emisí metra ve Scénáři 1 29

Obrázek 6: Hodnoty dosazené do kalkulátoru při výpočtu emisí tramvaje ve Scénáři 1 30

Obrázek 7: Hodnoty dosazené do kalkulátoru při výpočtu emisí městského autobusu ve Scénáři 1 30

Obrázek 8: Hodnoty dosazené do kalkulátoru při výpočtu emisí vlaku ve Scénáři 1 31

Obrázek 9: Hodnoty dosazené do kalkulátoru při výpočtu emisí letadla Airbus A319 ve Scénáři 2 33

Obrázek 10: Hodnoty dosazené do kalkulátoru při výpočtu emisí automobilu s benzínovým pohonem ve Scénáři 2 34

Obrázek 11: Hodnoty dosazené do kalkulátoru při výpočtu emisí automobilu s naftovým pohonem ve Scénáři 2 34

Obrázek 12: Hodnoty dosazené do kalkulátoru při výpočtu emisí elektromobilu ve Scénáři 2; úsek 1/3 35

Obrázek 13: Hodnoty dosazené do kalkulátoru při výpočtu emisí elektromobilu ve Scénáři 2; úsek 2/3 35

Obrázek 14: Hodnoty dosazené do kalkulátoru při výpočtu emisí elektromobilu ve Scénáři 2; úsek 3/3 35

Obrázek 15: Hodnoty dosazené do kalkulátoru při výpočtu emisí dálkového autobusu ve Scénáři 2 36

Obrázek 16: Hodnoty dosazené do kalkulátoru při výpočtu emisí vlaku ve Scénáři 2; úsek 1/5 38

Obrázek 17: Hodnoty dosazené do kalkulátoru při výpočtu emisí vlaku ve Scénáři 2; úsek 2/5 38

Obrázek 18: Hodnoty dosazené do kalkulátoru při výpočtu emisí vlaku ve Scénáři 2; úsek 3/5 38

Obrázek 19: Hodnoty dosazené do kalkulátoru při výpočtu emisí vlaku ve Scénáři 2; úsek 4/5 39

Obrázek 20: Hodnoty dosazené do kalkulátoru při výpočtu emisí vlaku ve Scénáři 2; úsek 5/5 39

Obrázek 21: Hodnoty dosazené do kalkulátoru při výpočtu emisí letadla ve Scénáři 3 41

Obsah

1. Úvod 9
2. Teoretická část 11
    2.1. Teoretický základ a struktura práce 11
    2.2. Definice modelových scénářů 13
    2.3. Volba dopravních prostředků 14
3. Metodická část 16
    3.1. Výpočet emisí letecké dopravy 16
    3.2. Výpočet emisí osobního automobilu 21
    3.3. Výpočet emisí elektromobilu 23
    3.4. Výpočet emisí hromadné dopravy 23
    3.5. Výpočet emisí zaoceánské a nákladní kontejnerové lodi 25
4. Praktická část 27
    4.1. Kalkulátor 27
    4.2. Scénář 1 – Dojížďka do školy/zaměstnání 27
    4.3. Scénář 2 – Zahraniční cesta po souši 32
    4.4. Scénář 3 – Zaoceánská cesta 40
    4.5. Výpočet srovnávacích hodnot dle databáze EcoInvent 44
5. Diskuze 47
    5.1. Diskuze Scénáře 1 47
    5.2. Diskuze Scénáře 2 49
    5.3. Diskuze Scénáře 3 51
    5.4. Zasazení výsledků do širšího kontextu 52
6. Závěr 54
7. Seznam použitých zdrojů 56
    7.1. Literatura 56
    7.2. Ostatní zdroje 58

1. Úvod

Před ponořením se do teoretických pilířů této práce bych rád zmínil pár slov o tom, proč jsem si toto téma vybral. Společností v poslední době rezonuje pojem „flygskam“, který pochází ze švédštiny a mohl by být přeložen jako „stud z létání“. Tento pojem označuje dobrovolné omezování letecké dopravy kvůli jejím environmentálním dopadům. K rozšíření tohoto trendu ve společnosti do značné míry přispěla švédská aktivistka Greta Thunberg (BBC, 2019; Andersson, 2019). Tento trend je ovšem často kritizován, protože šíří negativní emoce, nenabízí jasné řešení, moralizuje atd. (Mkono 2019). Van Der Werff (2019) uvádí, že negativní motivy, jako třeba *flygskam*, jsou obecně méně efektivní, co se týče ovlivňování chování jednotlivců. Mkono et al. (2020) také zmiňují, že *flygskam* je některými lidmi vnímán jako hnutí elit, které si mohou dovolit environmentálně příznivější alternativy. De Matteis (2019) uvádí, že změna individuálního životního stylu klimatickou změnu nezastaví, nicméně dopady takové změny v chování mohou vzrůst, je-li sdílena většinou lidí. Z tohoto pohledu lze *flygskam* hodnotit kladně, protože usiluje o změnu chování v globálním měřítku, ať už se jedná o jakkoliv kontroverzní způsob.

Sám tento trend již delší dobu sleduji a snažím se jej brát v potaz ve vlastním životě. Rozhodování o volbě dopravního prostředku s ohledem na životní prostředí pro mě bylo ale v mnoha situacích náročné, protože jsem si nedokázal odpovědět, který způsob dopravy je v daném kontextu vlastně nejšetrnější a zároveň časově i finančně dostupný.

Cenné poznatky k tomuto tématu nabízí studie od Highama a Cohena (2011), v níž byly zkoumány postoje patnácti Norů ke vztahu mezi globálními klimatickými změnami a leteckým cestováním. Autoři mj. zjistili, že možnost létat je pro Nory velmi důležitá a někteří respondenti by ústupky dělali raději v jiných oblastech života než v cestování. Kromě toho byl nalezen tzv. *attitude-behaviour gap*, tedy rozpor mezi postoji a činy. Respondenti také obecně považovali za větší problém časté létání na krátké vzdálenosti, zatímco výjimečné lety na dlouhé vzdálenosti (např. z Norska na Nový Zéland) jim připadaly méně podstatné. Někteří respondenti uvedli, že při cestování klimatickou změnu neberou v potaz, protože vztah mezi leteckou dopravou a klimatem je příliš nejasný.

Rozhodl jsem se proto na tuto problematiku zaměřit racionálně a pokusit se tak o vytvoření jasně srozumitelného srovnání jednotlivých dopravních prostředků pro účely rozhodování jednotlivců v konkrétních scénářích, které reprezentují různé typy cestování v běžném životě.

Zabývat se budu nejen letadly, nýbrž všemi konvenčně používanými dopravními prostředky v daných situacích.

Podobné tematice se věnuje např. Skrúcaný et al. (2018), který se ovšem zaměřuje na čistě technickou stránku věci, v modelových situacích počítá s převozem nákladu, a nikoliv s osobní dopravou a jeho závěr je příliš obecný na to, aby byl aplikován pro konkrétní situace v běžném životě. Také nebere v potaz leteckou dopravu.

V práci bude počítáno pouze s dopady v podobě emisí skleníkových plynů, přestože dopadů je celá řada (např. fragmentace krajiny, znečištění ovzduší, hlukové a světelné znečištění...). Produkce skleníkových plynů je velmi aktuálním a globálním tématem, jak bylo již zmíněno; také umožňuje poměrně jednoduchou kvantifikaci a tím pádem i srovnání mezi jednotlivými způsoby dopravy. Důraz bude kladen především na co největší názornost a srozumitelnost pro neodbornou veřejnost, i za cenu zjednodušení některých aspektů. Výstupem práce bude také interaktivní kalkulátor v prostředí Microsoft Excel, který bude vycházet ze zde použitých algoritmů.

2. Teoretická část

2.1. Teoretický základ a struktura práce

Obecným základem celé této práce je předpoklad, že dochází k antropogenní změně klimatu, kterou je třeba mitigovat (neboli zmírňovat; Moldan 2015, s. 270, 283). Podle Mezinárodního panelu pro změnu klimatu (dále IPCC) způsobily lidské aktivity již nyní oteplení o 1 °C oproti období před průmyslovou revolucí a odhaduje se, že antropogenní změna teploty dosáhne hodnoty 1,5 °C mezi lety 2030 a 2052 (IPCC 2018, s. 4). Moldan (2015, s. 270) považuje globální klimatickou změnu společně s rychlou redukcí světové biologické rozmanitosti za vůbec nejvážnější současné ohrožení životního prostředí v celosvětovém měřítku. Dopady na přírodní i lidské systémy byly již pozorovány a některé dopady (např. ztráta některých ekosystémů) mohou být dlouhodobé nebo dokonce nenávratné (IPCC 2018, s. 5).

Za zmínku ovšem stojí i to, že existují také hlasy, podle kterých se tento problém přeceňuje a které nutnost mitigace klimatické změny zpochybňují (Lomborg 2001, s. 365).

Doprava se na emisích skleníkových plynů podílí poměrně velkým dílem; produkuje totiž 21,6 % všech emisí CO_2 na světě (Climate Watch 2021), z čehož osobní doprava tvoří většinu, zhruba 55 % (Ritchie 2020).

Pro účely této práce jsem se rozhodl vyjádřit environmentální dopady různých způsobů osobní dopravy v podobě jejich emisí skleníkových plynů, a to ve třech scénářích reprezentujících různé situace z běžného života. Budou jimi dojížďka do práce či školy, zahraniční cesta po souši a zaoceánská cesta. V případě každého scénáře budou definovány konkrétní spoje, na základě nichž budou vypočteny emise skleníkových plynů pro každý z porovnávaných dopravních prostředků. Touto cestou bude dosaženo vysoké míry názornosti; ovšem aby byly výsledky práce zároveň použitelné i mimo modelové situace, bude přiložen interaktivní kalkulátor s použitými algoritmy, kam bude možno doplnit data pro výpočet emisí v jiných, avšak srovnatelných situacích (např. spotřebu jiného modelu automobilu, jinou vzdálenost cesty atd.).

Výsledky budou nakonec také porovnány s hodnotami vycházejícími z databáze EcoInvent (dále EI). Ta jsou získávána metodou posouzení životního cyklu a zahrnují tedy nejen emise

samotného procesu dopravy, ale také emise způsobené produkcí a následnou likvidací dopravního prostředku. Takové srovnání nám pomůže zasadit výsledky do širšího kontextu.

Na začátku práce je také vhodné jasně deklarovat, co se rozumí používanými jednotkami a ukazateli. V práci se hojně pracuje s dopravním a přepravním výkonem. Dopravní výkon vyjadřuje vzdálenost zdolanou určitým dopravním prostředkem. Jako jednotka je používán vozokilometr (např. automobil, vagon metra) nebo vlakokilometr (např. vlaková souprava). Přepravní výkon pak vyjadřuje, kolik osob nebo nákladu bylo převezeno. Jednotkou zde může být osobokilometr nebo tunokilometr, tedy doprava jedné osoby nebo jedné tuny nákladu na vzdálenost jednoho kilometru.

Jak uvádí Moldan (2015, s. 270), mezi příčinami současného zvyšování teploty je nejdůležitější vyšší koncentrace skleníkových plynů, především oxidu uhličitého. Kromě CO_2 jsou zde ovšem i další skleníkové plyny, jako třeba metan nebo oxid dusný. Těch je v atmosféře méně, ale jejich ohřívací potenciál může být výrazně vyšší než v případě CO_2; např. 21–30× vyšší u metanu a 310× v případě N_2O. Koncentrací CO_2eq se pak rozumí souhrnná koncentrace skleníkových plynů vyjádřená jako koncentrace ekvivalentního množství CO_2 (Moldan 2015, s. 271-272).

V této práci bude hojně používaná jednotka kgCO_2eq či gCO_2eq, vyjadřující emise skleníkových plynů prostřednictvím hmotnosti CO_2, která by způsobila ekvivalentní skleníkový efekt. Nicméně v našem případě je vliv ostatních skleníkových plynů velmi malý; např. při spalování benzínu vznikají emise 2,168 kgCO_2eq, z čehož je tvořeno 2,155 kg právě oxidem uhličitým a pouze 0,013 kgCO_2eq jinými skleníkovými plyny, konkrétně metanem a oxidem dusným (BEIS 2020b).

2.2. Definice modelových scénářů

K definici **Scénáře 1**, tedy dojížďky do práce či školy, jsou použita data ze Sčítání lidu, domů a bytů 2011. Aby bylo možné porovnat co největší počet možných dopravních prostředků při dojížďce do práce či školy, bude tento scénář definován na území Prahy, jejíž síť hromadné dopravy je v českém prostředí největší a jako jediná disponuje mj. i metrem. Dle ČSÚ (2011) byla v Česku průměrná vzdálenost dojížďky do zaměstnání 20,36 km a její trvání bylo 26,53 minut. Avšak vzhledem k tomu, že se jedná o data pro celou zemi, nelze je považovat za reprezentativní pro Prahu, kde jsou obyvatelé, infrastruktura i služby mnohem koncentrovanější. Aktuální data shrnující dojížďku po Praze se mi bohužel najít nepodařilo, nicméně, pro účely práce to ani není nutné.

Zatímco v případě dálkových cest může mít vzdálenost na emise vliv (v případě letadla, kde je u krátkých cest vysoký podíl emisí způsobených vzletem a u extrémně dlouhých cest, kde emise stoupají kvůli nutnosti převážet velký objem potřebného paliva; Jardine 2009), v případě dojížďky po městě tento faktor nehraje větší roli; tak či onak bude počítáno s průměrnými emisemi na kilometr městského stylu jízdy pro automobily či s průměrnými hodnotami odvozenými ze statistik Pražské integrované dopravy pro dopravní prostředky veřejné hromadné dopravy. Z těchto důvodů lze za účelem zjednodušení uvažovat pro jednoduchost trasu o délce 10 kilometrů bez ohledu na to, zda je taková hodnota dokonale reprezentativní. Čtenář si bude moci vypočítat emise vlastní dojížďky doplněním alternativních vstupních hodnot do přiloženého kalkulátoru.

Najít ukázkovou trasu, na níž by bylo možné cestovat všemi prostředky městské hromadné dopravy bohužel není možné a v tomto scénáři proto bude nutné stanovit odlišnou, avšak stejně dlouhou trasu pro každý dopravní prostředek, aby bylo možné je mezi sebou porovnat.

Scénář 2, tedy zahraniční cesta po souši, by měl poskytnout nejnázornější, a tedy i nejzajímavější výsledky celé práce. Umožní totiž porovnat široké spektrum dopravních prostředků včetně letecké dopravy. Pro tento scénář je třeba vybrat co nejfrekventovanější trasu, kterou lze ve srovnatelné délce absolvovat co největším možným počtem dopravních prostředků. Jako nejvhodnější trasa se jeví cesta z Prahy do Paříže. Ačkoliv se nejedná o nejčastější turistickou destinaci Čechů (k těm v roce 2018 patřilo Slovensko, Chorvatsko a Rakousko; Eurostat 2020b), je dostatečně dlouhá, aby mělo smysl ji absolvovat letadlem a zároveň jsou na této trase standardně dostupné přímé lety, jejichž délka je srovnatelná délkou alternativních pozemních spojů (přímou čarou 851 km mezi ruzyňským letištěm a letištěm CDG

v Paříži, krátká trasa pro auto 1018 km dle mapového portálu Mapy.cz, tedy o 19,6 % delší). Pro představu, na trase z Prahy do Říma, která je mezi Čechy mnohem frekventovanější (Eurostat 2020b), je tento rozdíl zásadnější. Zatímco přímou čarou se jedná o vzdálenost 936 km, krátká cesta autem dle portálu Mapy.cz je dlouhá 1223 km (tedy o 30,7 % delší).

Nakonec zbývá definovat **Scénář 3**, zaoceánskou cestu. Smith a Rodger (2009) definovali na základě DEFRA (UK Department of Environment, Food and Rural Affairs) dálkový let jako let přesahující 3700 kilometrů. Higham a Cohen (2011) pracovali ve své studii s pojmy *extreme long-haul flight* či *multiple long-haul flight*, tedy *extrémní dálkový let* nebo *vícenásobný dálkový let*, resp., a jako příklad vybrali trasu z Norska na Nový Zéland, která se skládá nejméně ze dvou dílčích letů, z nichž každý přesahuje vzdálenost 3700 kilometrů.

Vzhledem k tomu, že mým záměrem je porovnání různých možností dopravy a zároveň dosažení co největší srozumitelnosti pro potenciálního čtenáře této práce, tedy s největší pravděpodobností obyvatele ČR, rozhodl jsem se pro scénář zaoceánské cesty vybrat trasu Praha-New York. Zaprvé tato trasa s přehledem splňuje výše uvedenou definici pro dálkový let, zadruhé jsou Spojené státy mezi Evropany nejfrekventovanější mimoevropskou destinací (Eurostat 2019) a zároveň zde existuje i alternativa k letecké dopravě v podobě transatlantických plaveb (Slowtravel; Cunard).

2.3. Volba dopravních prostředků

Účelem této práce je především co největší srozumitelnost pro použití na situace v běžném životě. Proto je třeba pro každý scénář vybrat všechny běžně dostupné dopravní prostředky, jejichž použití by běžný člověk mohl v daném scénáři zvažovat. Zatímco v případě zaoceánské cesty jsou možnosti pouze dvě (letadlo a loď), v ostatních scénářích je možností více. Zahrnutí lodní alternativy, byť obtížně dostupné a málo využívané, má svůj důvod. Zaprvé pomůže odpovědět na otázku, zda je v případě takové cesty vůbec nějaká alternativa k letadlu a zda může mít taková alternativa menší dopad na životní prostředí. Bekaroo et. al (2021) ve své studii různých emisních kalkulátorů zjistili, že žádný z nich námořní dopravu nebral v potaz. To je dalším dobrým důvodem pro její zahrnutí v této práci.

Nyní budou definovány dopravní prostředky pro scénář vnitrozemské zahraniční cesty. Dle Eurostatu (2020a) Češi v roce 2018 cestovali na zahraniční pobyt o délce alespoň jednoho přespání ve 4 987 492 případech autem, ve 2 399 970 případech letadlem, ve

797 184 případech autobusem a pouze ve 279 455 případech vlakem. Ačkoliv se jedná o data pro cesty do celého světa a lze předpokládat, že právě na trase na trase Praha-Paříž může být poměr způsobů dopravy jiný, není třeba této odchylce věnovat větší pozornost. Všechny čtyři zmíněné způsoby jsou na této trase dostupné a zároveň ze standardních dopravních prostředků nepřipadají v úvahu žádné další, pročež budou v této práci uvažovány právě tyto čtyři.

Jiné možnosti pak připadají v úvahu ve scénáři dojížďky do práce. Hromadná doprava v Praze zahrnuje v současnosti metro, tramvaje, autobusy a vlaky. Najdeme zde také jednu trolejbusovou linku, lanovku na Petřín a přívozy. Pro představu o poměru jednotlivých dopravních prostředků je vhodné zmínit, že v roce 2019 bylo v rámci Pražské integrované dopravy vypraveno 114 milionů autobusů, 40 milionů tramvají, 19 milionů vlaků, 12 milionů souprav metra, 38 tisíc přívozů, 31 tisíc trolejbusů a 23 tisíc lanových drah (ROPID 2020). Vzhledem k tomu, že využití přívozů, trolejbusů a lanové dráhy je oproti zbývajícím dopravním prostředkům zanedbatelné, budou ve scénáři dojížďky brány v potaz pouze metro, tramvaj, autobus a vlak. Mimo hromadnou dopravu zde bude počítáno také s osobním automobilem, který byl v roce 2011 v Česku nejčastějším způsobem dopravy při dojížďce do zaměstnání (ČSÚ 2011).

V případě automobilů budou brány v potaz různé způsoby pohonu včetně elektrického. Právě v případě dojížďky v městském prostředí by mohly elektromobily podle některých předpokladů skýtat šetrnější alternativu ke spalovacím motorům, jak uvádí např. Smith (2010). Tematika výpočtu emisí automobilu v závislosti na způsobu pohonu bude více rozvedena v metodické části.

3. Metodická část

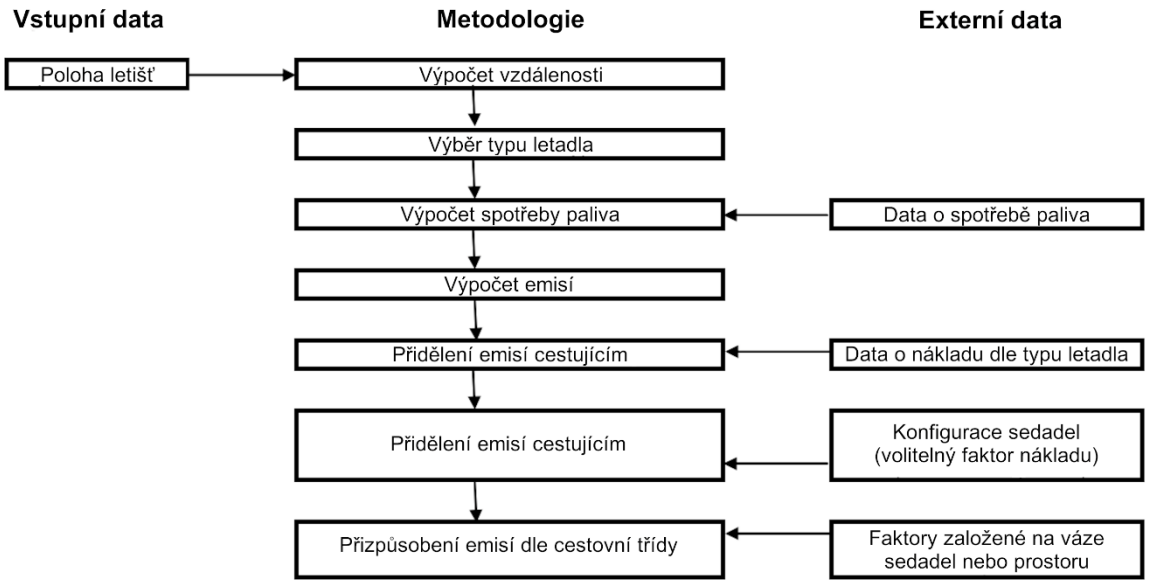
3.1. Výpočet emisí letecké dopravy

Výpočty v této práci budou zahrnovat pouze emise skleníkových plynů procesu osobní dopravy, jak bylo již stanoveno. Jedná se sice o poměrně jednoduchý ukazatel, který vypovídá jen o části environmentálních dopadů, ale díky jednoduchosti budou výpočty srozumitelné a názorné. Nakonec budou dosažené hodnoty srovnány s hodnotami z databáze EcoInvent, které zahrnují dopady celého životního cyklu.

Zásadním prvkem této práce je správný výpočet emisí letadel. V takovém výpočtu je totiž nutné učinit vícero odhadů a výsledek pro celé letadlo je možné přepočíst na jednu osobu různými způsoby. Tyto odhady a přepočty mohou zásadně ovlivnit výslednou hodnotu. (Jardine 2009)

Jardine (2009) ve své práci usiluje o definování standardu na poli výpočetních modelů uhlíkových emisí letecké dopravy. Kromě toho také posuzuje některé již existující modely a dochází k závěru, že nejpřesnějších výsledků lze dosáhnout za použití modelu od společnosti Sabre. Bohužel, v současnosti tento model není přístupný veřejnosti, a proto není možné jej přímo využít v této práci. Je proto potřeba sestrojit obdobný algoritmus, který bude vycházet z Jardinova (2009) popisu modelu Sabre za dodržení obecně navrhovaných zásad pro kalkulátory uhlíkových emisí z letecké dopravy.

Vzhledem k tomu, že zde pro běžného člověka není možné spočítat konkrétní spotřebu na konkrétní trase, je třeba učinit řadu odhadů (Jardine 2009). Základním pilířem kteréhokoliv algoritmu je skutečnost, že spalování paliva je stechiometrická chemická reakce a objem emisí oxidu uhličitého je tedy přímo úměrný množství spáleného paliva (Jardine 2009). V této práci bude počítáno s hodnotou 3,1814 kg ekvivalentu CO_2 na kilogram spáleného leteckého paliva (BEIS 2020b).



***Obrázek 1**: Schéma metodologie emisního kalkulátoru. Zdroj: Jardine (2009); vlastní překlad*

První krok dle Jardinova (2009) schématu (viz Obrázek 1) nepředstavuje zásadní problém. Umístění konkrétních letišť lze jednoduše zjistit a na základě jejich souřadnic lze snadno vypočítat délku ortodromy mezi těmito místy. I zde je ovšem třeba určité zjednodušení. Trasy letadel totiž nejsou vždy dokonalými ortodromami a drobné manévry při vzletu, přistávání nebo v průběhu letu mohou celkovou vzdálenost nepatrně zvětšit. Department for Business, Energy & Industrial Strategy (dále BEIS) proto používá 8% navýšení délky letu oproti ortodromě; stejná hodnota bude použita i v této práci (BEIS 2020a).

Dalším krokem je dle Jardinova (2009) schématu určení typu letadla a dosazení jeho spotřeby. Typ letadla je možné zjistit pro jakýkoliv konkrétní spoj pomocí internetových vyhledávačů (např. Rome2Rio).

Data o spotřebě běžně používaných letadel lze zjistit, ovšem nejedná se vždy o jednu univerzální hodnotu. Spotřeba bývá udávána pro různé vzorové vzdálenosti (Boeing 2007; Wikipedia 2021a). Kromě konkrétního typu letadla záleží také na konkrétní překonané vzdálenosti; vztah mezi emisemi a délkou letu totiž není lineární (Jardine 2009). Toto je způsobeno dvěma faktory: zaprvé je určitý objem paliva spotřebován na samotný vzlet bez ohledu na délku letu a v případě kratších letů je proto relativní spotřeba paliva na jednotku vzdálenosti vyšší. Zadruhé, efektivita letů se dále s rostoucí vzdáleností mírně snižuje, protože letadlo je zatíženo vahou paliva potřebného pro absolvování celé trasy (Jardine 2009). Tento vztah v algoritmu nebude přímo zahrnut, ovšem hodnoty spotřeby budou dosazovány vždy na

míru konkrétní vzdálenosti a nelineární vztah mezi spotřebou a délkou letu v nich již tedy bude zohledněn.

Další zásadní proměnnou ve výpočtu leteckých emisí je započtení radiačního působení. Jak naznačuje již Jardine (2009), značná dávka nejasností je způsobena skutečností, že emise vypuštěné vysoko v atmosféře mohou podněcovat řadu chemických reakcí krátkodobých i dlouhodobých, které mohou podporovat či naopak brzdit skleníkový efekt. Jsou různé způsoby, jak tento faktor započítat při kvantifikaci leteckých emisí a podrobně se takovým způsobům věnují Jungbluth & Meili (2018); ve své práci identifikovali pět hlavních proudů v této problematice. Jako nejlepší doporučují takové přístupy, které násobí veškeré letecké emise daným RFI (*radiative forcing index*) faktorem, přičemž jako nejvhodnější se zdá být pro tento faktor hodnota 1,7. I tak je ovšem třeba takové výpočty brát s rezervou a Jungbluth & Meili (2018) proto svou práci uzavírají s tím, že je do budoucna důležité, aby IPCC poskytl jasná a všeobecně platná doporučení pro takové výpočty. Pro účely této práce nicméně bude muset postačit zmíněná hodnota 1,7.

Posledním krokem pro výpočet emisí letu je přepočet na jednoho cestujícího. Kromě cestujících letadla běžně převážejí také náklad. Že se jedná o nezanedbatelný prvek svědčí mj. i fakt, že v roce 2019 bylo 59 % celosvětové nákladní letecké dopravy (přepočteno dle tunokilometrů) převáženo právě v nákladním prostoru osobních letadel (Mazareanu 2020). Dle dat BEIS (2020a) se převoz nákladu týká především letů na delší vzdálenosti (jako příklady delších vzdáleností jsou v tabulce uvedeny lety v rozmezí 3300 až 17 000 km a průměr je 6823 km).

Vzhledem k aktuální situaci ve světě, kdy je z důvodu pandemie rušeno velké množství letů, začalo docházet k tomu, že jsou letadla určená pro osobní dopravu používána výhradně pro převoz nákladu. To je podpořeno také zvýšenou poptávkou po rychlém dodání zdravotnických pomůcek (Buyck 2020). Pro účely této práce ovšem platí předpoklad, že globální pandemie je dočasnou záležitostí a tato specifická odchylka proto nebude brána v potaz.

Veřejně dostupná data o váze přepravovaného nákladu jsou bohužel velmi vzácná, a proto je třeba se i zde uchýlit k pouhému odhadu (Jardine 2009). Velice přehledná data na tomto poli poskytuje BEIS (2020a): zmiňuje také tři možné přístupy k přepočtu emisí mezi cestující a náklad. První možností je nebrat náklad vůbec v potaz a přepočíst veškeré emise pouze mezi cestující. Druhou možností je přepočíst emise přímo dle hmotnosti nákladu i cestujících, čímž bychom ovšem v případě nákladu dosáhli hodnot mnohem vyšších, než kdyby byl náklad

převážen výhradně nákladním spojem ve srovnatelném letadle. Třetí možností je přiblížit data k hodnotám nákladních letů, např. započtením hmotnosti veškeré infrastruktury potřebné k obsluze pasažérů (např. sedadla). Poměry emisí příslušící cestujícím dle zmíněných tří přístupů jsou uvedeny na příkladech vnitrostátních, krátkých a dlouhých letů na Tabulce 1. BEIS (2020a) za nejvhodnější považuje třetí ze zmíněných možností, pročež tento přístup bude využit i v této práci (ačkoliv v případě letů na krátké vzdálenosti způsobuje použití různých přístupů jen relativně malé rozdíly).

Způsob přepočtu ►	**Žádný**		**1. možnost: přímý**		**2. možnost: ekvivalentní**	
Typ letu ▼	**% tkm náležící cestujícím**	**gCO_2/oskm**	**% tkm náležící cestujícím**	**gCO_2/oskm**	**% tkm náležící cestujícím**	**gCO_2/oskm**
vnitrozemský let	100 %	118,7	99,76 %	118,4	99,76 %	118,4
krátký let	100 %	76,5	98,71 %	75,4	98,71 %	75,4
dlouhý let	100 %	107,5	68,49 %	73,2	86,80 %	92,5

***Tabulka 1**: Procenta příslušící cestujícím dle tří možných přepočtů. Zdroj: BEIS (2020a); vlastní překlad*

V případě letu Praha–Paříž budeme tedy uvažovat, že cestujícím přísluší 98,71 % celkových emisí a v případě letu Praha–New York budeme počítat 86,8 %.

Nyní se zaměříme již pouze na cestující v letadle. Jardine (2009) zmiňuje dvě možnosti: pokud známe počet cestujících na konkrétním spoji, můžeme emise celého letadla rovnoměrně rozdělit mezi cestující. Druhou možností je přepočítat emise letadla na sedadlo, bez ohledu na obsazenost spoje; Jardine (2009) preferuje tuto druhou možnost, neboť cestující by neměl nést zodpovědnost za nevyužitá sedadla; tato zodpovědnost totiž přísluší dopravci. Na druhou stranu, dokonalé zaplnění všech spojů je pochopitelně nedosažitelné a je proto otázkou, zda není vhodné brát v potaz právě i prázdná sedadla. Pro větší vypovídající hodnotu budou v této práci vypočítány obě varianty (tedy jak přepočet na cestujícího v průměrně obsazeném letadle, tak přepočet na jedno sedadlo bez ohledu na obsazenost).

Pro přepočet na sedadlo poskytuje vhodná data opět BEIS (2020a). Prémiové třídy sedadel (např. tzv. business class) zabírají více místa a tím snižují počet sedadel, který se do letadla vejde; BEIS (2020a) proto poskytuje tabulkové hodnoty pro přepočet prémiových sedadel na obyčejné místo v tzv. *economy class*, viz Tabulku 2. Hodnoty byly vypočteny na základě výběru 16 předních aerolinek a jimi používaných konfigurací sedadel.

Typ letu	Cestovní třída	Průměrná obsazenost	gCO2/oskm	Počet sedadel v EC	% průměrných emisí gCO2/oskm	% všech sedadel
vnitrostátní let	**vážený průměr**	**82,40 %**	**118,4**	**1,00**	**100,0 %**	**100,0 %**
krátký let	**vážený průměr**	**86,40 %**	**75,4**	**1,02**	**100,0 %**	**100,0 %**
	economy class	86,40 %	74,2	1,00	98,4 %	96,7 %
	první tř./business tř.	86,40 %	111,3	1,50	147,5 %	3,3 %
dlouhý let	**vážený průměr**	**81,20 %**	**92,5**	**1,31**	**100,0 %**	**100,0 %**
	economy class	81,20 %	70,9	1,00	76,6 %	83,0 %
	economy+	81,20 %	113,4	1,60	122,5 %	3,0 %
	business class	81,20 %	205,5	2,90	222,1 %	11,9 %
	první třída	81,20 %	283,5	4,00	306,3 %	2,0 %

***Tabulka 2**: Přepočet prémiových sedadel na sedadla v economy class (EC). Zdroj: BEIS (2020a); vlastní překlad*

Přesnějších výsledků bychom samozřejmě dosáhli, kdybychom přepočetli sedadla podle konkrétní konfigurace sedadel na daném spoji, ovšem při použití takového přístupu by bylo mnohem obtížnější sehnat všechna potřebná data. Vzhledem k tomu, že výsledek této práce má poskytnout srozumitelný výsledek pro rozhodování v běžném životě, není třeba se zabývat specifickými případy, ale postačí výše zmíněné průměrné hodnoty dle BEIS (2020a).

Tímto byly zohledněny všechny kroky dle Jardina (2009), znázorněné již dříve na Obrázku 1. Výsledkem je následující vzorec:

$$E_{os} = \frac{s_o \times k_v \times c_{km} \times E_{kg} \times k_{RFI} \times k_n}{n_{ECeq} \times k_{obs} \times k_t}$$

E_{os}=emise CO_2 na osobu (g)

s_o = vzdálenost po ortodromě (km)

k_v=koeficient navýšení vzdálenosti oproti ortodromě

c_{km}=spotřeba paliva na kilometr (kg)

E_{kg}=emise CO_2 na kilogram spáleného paliva (g)

k_{RFI}=koeficient radiačního působení

k_n=koeficient nákladu

n_{ECeq}=počet sedadel ekvivalentních *economy class*

k_{obs}=koeficient obsazenosti

k_t=koeficient třídy

3.2. Výpočet emisí osobního automobilu

Vzhledem k tomu, že jízda autem je pro běžného člověk mnohem pochopitelnější a transparentnější proces než let letadlem, bude i výpočet emisí tohoto procesu jednodušší.

Laboratorní hodnoty spotřeby paliva a emisí CO_2 pořízené dle normy New European Driving Cycle (dále NEDC) se v některých letech lišily o 30 až 40 % od hodnot dosažených v praxi (Fontaras et al. 2017; BEIS 2020a). To je způsobeno celou řadou faktorů, které při laboratorních testech nejsou dostatečně zohledněny; např. váha naloženého vozidla, typ pneumatik, používání dodatečných funkcí (např. klimatizace), styl jízdy, přírodní a dopravní podmínky na trase a další (Fontaras et. al. 2017). Hodnoty deklarované výrobcem dle normy NEDC budou proto násobeny koeficientem pro přepočet na reálnou spotřebu. Je třeba dodat, že v současnosti je zaváděna nová norma WLTP (Worldwide Harmonised Light Vehicles Test Procedure), která by měla poskytovat výsledky bližší realitě; nicméně v této práci nebude brána v potaz, protože zatím není k dispozici dostatek dat pro vytvoření podobných koeficientů (BEIS 2020a).

Ačkoliv se procentuální hodnota této odchylky liší v závislosti na použitých datech, byl identifikován dlouhodobý trend růstu této odchylky do roku 2015 a většina zdrojů se shoduje, že tato odchylka od té doby stagnuje (Tietge et al. 2019). V této práci budou laboratorní hodnoty dle normy NEDC násobeny koeficientem dle dat BEIS (2020a), protože souhrnná tabulka v této studii poskytuje praktický a konzistentní zdroj dat. Je ovšem třeba dodat, že výpočtu takových koeficientů se věnuje více autorů a jejich výsledky se mohou do jisté míry navzájem odlišovat.

Dílčí faktory ovlivňující reálnou spotřebu nebudou samostatně zohledňovány. Použitý koeficient totiž vychází z velkého množství dat z praxe, díky čemuž v sobě zahrnuje průměrné jízdní vlastnosti. Toto rozhodnutí tedy vychází z předpokladu, že uvažovaná cesta bude svými vlastnostmi podobná té průměrné, alespoň dle dat použitých pro výpočet koeficientů ve studii BEIS (2020a). To značně zjednodušuje vytvoření i používání kalkulátoru; na druhou stranu to znemožňuje brát v potaz případné atypické hodnoty některých faktorů (např. vysoká hmotnost

nákladu nebo agresivní styl jízdy). Vlivu jednotlivých faktorů se podrobně věnuje např. Fontaras et al. (2017).

Pro výpočet emisí celého vozu bude tedy překonaná vzdálenost vynásobena laboratorní hodnotou spotřeby (dle normy NEDC), koeficientem pro přepočet spotřeby na reálnou hodnotu, a nakonec hmotností vyprodukovaných emisí ekvivalentu CO_2 na litr spáleného paliva. Z používaných paliv bude v této práci uvažován pouze benzín a nafta. Hodnoty spotřeby budou doplňovány v litrech na 100 kilometrů jízdy, jak je v Evropě u osobních automobilů zvykem, byť taková jednotka může ve výpočtu působit chaotickým dojmem. Protože se nepodařilo jednoznačně určit nejpoužívanější model benzínového a naftového automobilu v Česku, poslouží pro vzorové výpočty relativně běžný model Škoda Fabia II Combi, a to ve dvou motorizacích: 1,4 l/63 kW EU 4 (benzín) a 1,4 l/59kW TDI PD – EU 4 (nafta), obou z roku 2009. Přiložený kalkulátor nicméně umožňuje doplnit hodnoty jakéhokoliv jiného modelu. Výpočtu emisí elektromobilů je pak věnována samostatná kapitola. Algoritmus pro konvenční pohony je nakonec shrnut touto rovnicí:

$$E_{os} = \frac{\frac{s}{100} \times c_{100} \times k_{NEDC} \times E_l}{n_{obs}}$$

E_{os}=emise ekvivalentu CO_2 na osobu (g)
s=překonaná vzdálenost (km)
c_{100}=spotřeba paliva na 100 kilometrů (l)
k_{NEDC}=koeficient přepočtu udávané spotřeby dle NEDC na spotřebu v reálném světě
E_l=emise ekvivalentu CO_2 na litr spáleného paliva (g)
n_{obs}=počet cestujících

3.3. Výpočet emisí elektromobilu

Výpočet emisí elektromobilu bude v této práci proveden velmi jednoduchým způsobem. Dle uvažovaného modelu elektromobilu a dle jízdních podmínek bude zvolena hodnota měrné spotřeby elektřiny (kvalitní data v tomto případě poskytují stránky Electric Vehicle Database). Narozdíl od osobních automobilů zde dosazujeme již hodnoty, jež by měly být reálné a není tudíž třeba do algoritmu vkládat přepočet z laboratorních hodnot do reality. Dále je třeba přepočíst spotřebovanou energii na emise způsobené její produkcí. Spotřebu elektřiny vynásobíme překonanou vzdáleností a emisemi energetického mixu v přepočtu na kWh v daném státě. Takto získanou hodnotu emisí celého vozu vydělíme požadovanou obsazeností. Výpočet je znázorněn v následující rovnici.

$$E_{os} = \frac{s \times e_{vkm} \times \frac{E_{kWh}}{1000}}{n_{obs}}$$

E_{os}=emise ekvivalentu CO_2 na osobu (g)

s=překonaná vzdálenost (km)

e_{vkm}=měrná spotřeba elektromobilu na vozokilometr (kWh)

E_{kWh}=emise ekvivalentu CO_2 na kWh vyprodukované energie v místním energetickém mixu (g)

n_{obs}=počet cestujících

3.4. Výpočet emisí hromadné dopravy

Ačkoliv pohon **autobusu** funguje na stejném principu jako pohon konvenčních automobilů, výpočet emisí bude v některých ohledech odlišný. Zatímco u automobilů je počítáno s laboratorními hodnotami od výrobce, u autobusů tyto hodnoty nebývají běžně dostupné; a i kdyby byly, jejich vypovídající hodnota by byla nízká kvůli velmi specifickému stylu jízdy veřejných autobusů, který závisí na vzdálenostech mezi zastávkami a povaze infrastruktury a terénu v daném městě. Vzhledem k tomu, že tato práce má být co nejsrozumitelnější a nejnázornější pro potenciálního čtenáře, bude počítáno s hodnotami přímo ze statistik Dopravního podniku hl. m. Prahy uvedených v Územní energetické koncepci hl. m. Prahy (2013–2033), podobně, jako ve své práci činila Fingermannová (2015). Data o spotřebě spolu s daty o ujetých vozokilometrech nám dají velmi jasnou představu o průměrné spotřebě

autobusů v pražském provozu; slabinou takového přístupu pak je nižší výpovědní hodnota při aplikaci algoritmu pro jiný systém hromadné dopravy, než je ten pražský.

$$E_{os} = \frac{\frac{s}{100} \times c_{100} \times E_l}{n_{obs}}$$

E_{os}=emise ekvivalentu CO_2 na osobu (g)
s=překonaná vzdálenost (km)
c_{100}=spotřeba paliva na 100 kilometrů (l)
E_l=emise ekvivalentu CO_2 na litr spáleného paliva (g)
n_{obs}=počet cestujících; v případě dálkových autobusů je počet cestujících počítán zvlášť jako součin procentuální obsazenosti a kapacity použitého vozu

Výpočet emisí **tramvaje a metra** bude v principu velmi podobný jako výpočet emisí autobusu. Po vzoru Fingermannové (2015) bude opět počítáno se statistikou o spotřebované energii v jednotlivých sektorech dle Územní energetické koncepce hl. m. Prahy (2013–2033). V případě metra bude počítáno s údajem, který kromě trakční energie zahrnuje i energii netrakční, která je potřeba na provoz nezbytné infrastruktury (eskalátory, osvětlení stanic atd.). Přestože ke spotřebě netrakční energie dochází i u jiných dopravních prostředků, bude s ní počítáno jen v případě metra, kde je její podíl naprosto zásadní (tvoří 52,8 % celkové spotřeby; Fingermannová 2015). Rozdíl oproti výpočtu emisí autobusu pak tkví v tom, že spotřebovanou elektřinu je nutné převést na emise vyprodukované její produkcí. V tomto ohledu bude počítáno s energetickým mixem České republiky za rok 2019, který produkoval v průměru 431 gCO^2e/kWh (EEA 2020).

$$E_{os} = \frac{s \times e_{vkm} \times E_{kWH}}{n_{obs}}$$

E_{os}=emise ekvivalentu CO_2 na osobu (g)
s=překonaná vzdálenost (km)
e_{vkm}=měrná spotřeba tramvaje či metra na vozokilometr (kWh)
E_{kWh}=emise ekvivalentu CO_2 na kWh vyprodukované energie v místním energ. mixu (g)
n_{obs}=počet cestujících

Výpočet emisí vlaku se bude do značné míry podobat výpočtu emisí tramvaje; spotřeba elektřiny bude vynásobena emisemi energetického mixu v daném státě a výsledek bude rozdělen mezi cestující. Je zde ovšem několik specifických rozdílů. Rozdílným způsobem bude přistupováno k posuzování emisí vlaků ve scénáři dojížďky do práce a ve scénáři zahraniční cesty po souši. V prvním případě je průměrná rychlost vlaku i vzdálenost mezi zastávkami menší, což má velký vliv na výslednou spotřebu. Naopak v případě zahraniční cesty je zase třeba počítat se změnami energetického mixu při překračování státních hranic.

$$E_{os} = \frac{s \times e_{vlkm} \times E_{kWH}}{n_{obs}}$$

E_{os}=emise ekvivalentu CO_2 na osobu (g)
s=překonaná vzdálenost (km)
e_{vkm}=měrná spotřeba tramvaje na vlakokilometr (kWh)
E_{kWh}=emise ekvivalentu CO_2 na kWh vyprodukované energie v místním energ. mixu (g)
n_{obs}=počet cestujících

3.5. Výpočet emisí zaoceánské a nákladní kontejnerové lodi

V případě scénáře zaoceánské cesty je jedinou veřejně dostupnou alternativou k letadlu lodní doprava, přičemž na výběr jsou dvě možnosti: zaoceánská loď určená k přepravě osob, nebo pronájem kajuty na nákladní lodi. Bohužel, v obou případech je velmi obtížné sehnat spolehlivá data. Bude proto nutné uchýlit se jen k hrubým odhadům a k použití neověřených dat.

V případě zaoceánských lodí bude hlavním zdrojem dat článek z The Guardian (2006), kde lze najít dva různé odhady emisí zaoceánských lodí přepočtených na jednoho cestujícího. Vhodnější veřejně dostupná data se bohužel nepodařilo najít. Je třeba také dodat, že definici *zaoceánské lodě* (anglicky *ocean liner*), tedy lodě určené k osobní přepravě napříč moři a oceány, v současnosti odpovídá pouze jediná loď, a sice RMS Queen Mary 2, aktuálně provozovaná společností Cunard (Wikipedia 2021b; Cunard). Do této kategorie totiž nejsou počítány trajekty cestující na krátké vzdálenosti ani výletní lodě (anglicky *cruise ships*), jejichž primárním účelem není přeprava osob.

Pro dopravu na palubě nákladní lodi bude uvažována trasa „Liberty Bridge“, zprostředkovávaná lodí CMA CGM La Traviata, konkrétně v úseku Le Havre–New York (Voyages en Cargo), neboť se příhodně blíží přímé trajektorii Praha-New York. Poměrně jasná data o provozu kontejnerových lodí naštěstí lze dohledat na stránkách přepravní společnosti nebo ve studii od Mezinárodní námořní organizace (IMO 2009). V případě dopravy na palubě nákladní lodi představuje komplikaci především přepočet emisí na cestujícího. Zatímco emise lodí určených k přepravě osob lze rozdělit mezi konkrétní počet osob, v případě cestování na nákladní lodi vyvstává otázka, jaký podíl zodpovědnosti za vypuštěné emise nesou případní cestující, jejichž hmotnost a jimž vyhrazený prostor je zanedbatelný oproti hmotnosti a objemu převáženého nákladu. Veřejně dostupná data nám umožňují přiblížit se k reálnému podílu emisí způsobených cestujícími dvěma různými způsoby.

První možností je vycházet z prostoru zabraného kajutami pro cestující. Ti samozřejmě vyžadují i další infrastrukturu nad rámec samotných kajut, ale pro zjednodušení lze předpokládat, že cestující budou infrastrukturu sdílet se zaměstnanci. Poté stačí vypočíst, jaký podíl objemu veškerého nákladu tvoří právě kajuty pro cestující a ve stejném poměru poté vypočítat podíl na celkových emisí lodi (za předpokladu průměrného vytížení).

Druhou možností je počítat cestující stejným způsobem jako náklad, tedy sečíst hmotnost cestujících, jejich zavazadel a jim určených zásob, vztáhnout tento součet k průměrné váze nákladu na lodi a ve stejném poměru poté vypočítat podíl z celkových emisí. Nevýhodou takového přístupu je opět nedostatek přesných dat (především co se týče zásob) a nezapočtení infrastruktury určené cestujícím. V této práci budou použity obě zmíněné možnosti a oba výsledky pak budou mezi sebou porovnány.

4. Praktická část

4.1. Kalkulátor

V prostředí Microsoft Excel byl na základě algoritmů stanovených v metodické části sestaven interaktivní kalkulátor, který je přiložen na CD k této práci jako Příloha 1. Soubor ve formátu .xlsx je tvořen několika listy. Úvodní list shrnuje použitá data a vysvětluje použití kalkulátoru. Následující listy pak obsahují samostatné verze kalkulátoru pro jednotlivé dopravní prostředky v tomto pořadí: osobní automobil, elektromobil, letadlo, vlak, tramvaj, metro, městský autobus a dálkový autobus. Buňky, které jsou určeny k výběru předem definovaných hodnot jsou označeny oranžově a buňky, kam je možné doplnit vlastní hodnotu, jsou označeny žlutě. Kalkulátor byl použit k výpočtu hodnot zmíněných v praktické části, ale zároveň umožňuje uživatelům provedení vlastních výpočtů výběrem jiných vstupních hodnot či dosazením vlastních.

4.2. Scénář 1 - Dojížďka do školy/zaměstnání

Jak již bylo stanoveno v teoretické části, pro tento scénář budou srovnávány tyto dopravní prostředky: auto, elektromobil, metro, tramvaj, autobus a vlak. Délka trasy byla stanovena na 10 km.

Auto

V prostředí Microsoft Excel byl vytvořen kalkulátor dle vzorce stanoveného v Teoretické části. Pro zachování konzistence budou využívány laboratorní hodnoty spotřeby v městském provozu přímo od výrobce. Tyto hodnoty budou násobeny koeficientem pro přepočet laboratorních hodnot dle normy NEDC na reálnou spotřebu; tento koeficient bude doplněn ze studie BEIS (2020a) s ohledem na rok pořízení laboratorní hodnoty. Pro účely této práce budou do kalkulátoru dosazeny hodnoty automobilu Škoda Fabia II Combi v motorizacích 1,4 l/63 kW EU 4 (benzín) a 1,4 l/59kW TDI PD – EU 4 (nafta), obě z roku 2009 (Škoda Auto 2009). V tomto scénáři budou brány v potaz hodnoty pro městský styl jízdy. Průměrná obsazenost aut v Praze byla použita z ročenky TSK Praha za rok 2019 (TSK Praha 2020). Všechny dosazené hodnoty v kalkulátoru lze vidět na Obrázcích 2 a 3.

vzdálenost (km)	model automobilu	spotřeba (l/100km)	zdroj dat o spotřebě
10	Fabia II Combi, 1,4 l/63 kW - EU 4 město	8,6	lab. hodnota NEDC 2009

k_{NEDC}	palivo	emise ($kgCO_2eq/l$)	obsazenost
1,2095	benzín	2,168	Praha 2019

(osob/vůz)	emise ($kgCO_2eq$/osoba)	(gCO_2eq/osoba)
1,3	**1,73**	**1734,68**

Obrázek 2: *Hodnoty dosazené do kalkulátoru při výpočtu emisí benzínového automobilu ve Scénáři 1.*

vzdálenost (km)	model automobilu	spotřeba (l/100km)	zdroj dat o spotřebě
10	Fabia II Combi, 1,4 l/59kW TDI PD - EU 4 město	5,7	lab. hodnota NEDC 2009

k_{NEDC}	palivo	emise ($kgCO_2eq/l$)	obsazenost
1,2095	nafta	2,546	Praha 2019

(osob/vůz)	emise ($kgCO_2eq$/osoba)	(gCO_2eq/osoba)
1,3	**1,35**	**1350,19**

Obrázek 3*: Hodnoty dosazené do kalkulátoru při výpočtu emisí dieselového automobilu ve Scénáři 1.*

Na stanovené trase byly kalkulátorem vypočteny hodnoty 1735 g ekvivalentu CO2 pro benzínový motor a 1350 g pro naftový motor. Je třeba poznamenat, že obsazenost je ovšem hodnota, kterou člověk svým chováním může snadno ovlivnit, a při vyšší než průměrné obsazenosti by hodnoty emisí na osobu mohly být výrazně nižší (451 g pro benzín a 351 g pro naftu při obsazení všech 5 sedadel). Naopak, pokud v autě pojede jen jeden člověk, osobní emise budou 2255,09 gCO_2eq pro benzín a 1755,25 gCO_2eq pro naftu.

Elektromobil

Jako vzorový vůz byl zvolen model Škoda Citigo iV o výkonu 61kW, který byl v roce 2020 nejprodávanějším elektromobilem v Česku (Svět motorů 2020). Dále byla dosazena hodnota o měrné spotřebě tohoto modelu v městském prostředí za mírného počasí (mírné počasí je definováno teplotou 23 °C bez použití klimatizace; EV Database). Uvažujeme-li, že elektromobil byl nabit z české sítě (emise 431 gCO_2eq/kWh v roce 2019; EEA 2020) a vůz má průměrnou obsazenost v pražských podmínkách v roce 2019, tedy 1,3 os/vůz (TSK Praha 2020), dostaneme hodnotu 334,85 g ekvivalentu CO_2 na osobu, jak vidíme na Obrázku 4. Při minimální obsazenosti by to bylo 435,1 g a při maximální obsazenosti (tj. 4 osoby) dokonce 108,83 g.

vzdálenost (km)	údaj o spotřebě	(Wh/km)	zdroj elektřiny
10	Citigo iV - město, mírné počasí	101	Česko 2019

emise (gCO_2eq/kWh)	obsazenost	(osob/vůz)	emise (gCO_2eq/os)
431	Praha 2019	1,3	334,85

Obrázek 4: *Hodnoty dosazené do kalkulátoru při výpočtu emisí elektromobilu ve Scénáři 1.*

Metro

Pro účely srovnání metra s ostatními dopravními prostředky byla do kalkulátoru dosazena měrná spotřeba elektřiny na vozokilometr, která zahrnuje v případě metra kromě samotné trakční energie i energii vynaloženou na provoz infrastruktury metra (např. provoz eskalátorů, osvětlení stanic), jak již bylo zdůvodněno v Teoretické části.

Je třeba také zmínit, jak byla zjištěna hodnota průměrné obsazenosti vozu metra. Pražské metro v roce 2019 přepravilo 440 489 000 cestujících (DPP 2019) a hrubý počet ujetých linkových kilometrů byl ve stejném roce 12 178 800 (ve vlakokilometrech; ROPID 2020). Uvažujeme-li, že průměrná cesta metrem činí 6,642 km (DPP & ROPID 2015), stačí roční úhrn cestujících vynásobit touto vzdáleností a vzniklý počet osobokilometrů vydělit ročním úhrnem vykonaných vlakokilometrů. Tak zjistíme, že průměrná obsazenost činí 240,23 osob na vlak, tedy 48,05 osob na vůz (souprava je tvořena pěti vozy).

vzdálenost (km)	typ soupravy/zdroj dat	spotřeba (kWh/vozokm)	zdroj elektřiny
10,00	Pražské metro - celý systém (2012)	3,975	Česko 2019

emise (gCO2/kWh)	obsazenost	(osob/vůz)	výsledek (gCO_2eq/osoba)
431	průměr 2019	48,05	356,55

Obrázek 5*: Hodnoty dosazené do kalkulátoru při výpočtu emisí metra ve Scénáři 1.*

Jak je vidět na Obrázku 5, při dosazení českého energetického mixu jako zdroje elektřiny (431 gCO_2eq/kWh; EEA, 2020) a při započtení průměrné obsazenosti vozů metra v roce 2019 dosáhneme na stanovené trase výsledku 356,55 gramů ekvivalentu CO_2 na osobu.

Tramvaj

Výpočet emisí se velmi podobá postupu použitému v případě metra. Do kalkulátoru byla dosazena průměrná spotřeba elektřiny na jeden vozokilometr (2,81 kWh/vozokm; Seven Energy 2013a), emisní náročnost energetického mixu v českých podmínkách a tento součin byl vydělen průměrným počtem osob v tramvaji (25,1 osob; DPP & ROPID 2016). Zadané hodnoty vidíme na Obrázku 6. Výslednou hodnotou je 482,51 g ekvivalentu CO_2.

vzdálenost (km)	typ tramvaje	spotřeba (kWh/vozokm)	zdroj elektřiny
10,00	Praha 2012 (průměr)	2,81	Česko 2019

emise (gCO_2eq/kWh)	obsazenost	(osob/vůz)	výsledek (gCO_2eq/osoba)
431	Praha 2016 (průměr)	25,1	482,51

***Obrázek 6**: Hodnoty dosazené do kalkulátoru při výpočtu emisí tramvaje ve Scénáři 1.*

Autobus

Vzhledem k tomu, že pro spotřebu byla dosazena průměrná hodnota z praxe (46 l/100 km; Seven Energy 2013a), není již třeba zahrnovat přepočet na reálné emise, jako tomu bylo u automobilů. Průměrná obsazenost za celou Prahu byla vypočtena z výsledků dílčích přepravních průzkumů, které v pěti částech pražské dopravní sítě (jih, jihozápad, sever, severozápad, východ) proběhly mezi lety 2017 a 2019. Hodnoty z jednotlivých výzkumů byly zprůměrovány pomocí váženého průměru, kde váhou byl počet vykonaných vozokilometrů v příslušné oblasti. Výsledná hodnota pro celou Prahu je tedy 19,53 osob/vůz (DPP & ROPID 2017a; 2017b; 2018a; 2018b; 2019).

vzdálenost (km)	spotřeba	(l/100km)	palivo
10,00	Praha 2012	46	nafta

emise (gCO_2eq/l)	obsazenost	(osob/vůz)	emise (gCO_2eq/osoba)
2546	Praha 2017-19 (průměr)	19,53	599,67

***Obrázek 7**: Hodnoty dosazené do kalkulátoru při výpočtu emisí městského autobusu ve Scénáři 1.*

Po dosazení těchto hodnot (viz Obrázek 7) dosáhneme výsledku 599,67 g ekvivalentu CO_2 na osobu. Je třeba poznamenat, že průměrná obsazenost je překvapivě nízká, dokonce výrazně nižší, než je počet míst k sezení (36) v běžně používaném autobuse SOR NB 12

(Wikipedie 2021a). Při efektivnějším využití kapacit autobusů by tak mohla být hodnota emisí na osobu výrazně nižší (např. 325 gCO_2eq při obsazení všech sedadel).

Vlak

Získání vhodných dat o spotřebě a obsazenosti příměstských vlaků bohužel nebylo z veřejných datových zdrojů možné a je proto třeba uchýlit se k méně přesným odhadům. Doleček & Hrubý (2017) uvádějí zprůměrované hodnoty měrných spotřeb vlaků pro jednotlivé kategorie; v případě příměstských linek budeme uvažovat hodnotu pro osobní vlaky, jejichž linky jsou charakterizovány nižšími rychlostmi a kratšími vzdálenostmi mezi zastávkami, což platí i v případě příměstských linek. Hodnota měrné spotřeby (od r. 2011 činí 0,04 kWh/hrtkm; Doleček & Hrubý 2017) je ovšem uvedena ve vztahu k hrubým tunokilometrům; pro přepočet na vlakokilometry je proto třeba zjistit provozní váhu používaných souprav. Za příklad běžné vlakové soupravy na příměstských linkách bude považována elektrická jednotka řady 471, známá spíše jako CityElefant. Její hmotnost ve službě je 155 400 kg (tj. včetně plných vodojemů, ale bez započtení cestujících; Wikipedie 2021b). Při průměrné obsazenosti spojů ČD 31,2 % v roce 2019 (ČD 2019) a při celkové kapacitě vlaku 643 osob (Wikipedie 2021b) se dostáváme na 200,6 osob na vlak při průměrné obsazenosti. Vynásobíme-li tento počet průměrnou hmotností cestujícího 77,4 kg (Berdowski et al. 2009) a přičteme-li tuto hodnotu k hmotnosti vlaku, zjistíme, že při průměrné obsazenosti je celková hmotnost vlaku 170 926 kg. Jeden vlakokilometr je tedy v případě CityElefantu roven 170,926 tunokilometrům a měrná spotřeba soupravy je tím pádem 6,837 kWh/vlakokm. Protože nejsou dostupná specifičtější data, je uvažována průměrná obsazenost všech spojů ČD, tedy již zmíněných 200,6 osob na soupravu CityElefant. Po dosazení těchto hodnot do kalkulátoru, jak je znázorněno na Obrázku 8, vyšla hodnota 146,88 g ekvivalentu CO_2 na osobu. Tímto byly zváženy všechny dopravní prostředky stanovené pro Scénář 1; výsledky jsou shrnuty v Tabulce 3.

vzdálenost (km)	typ soupravy	spotřeba (kWh/vlakokm)	zdroj elektřiny
10,00	CityElefant (170,926t)	6,837	Česko 2019

emise (gCO_2eq/kWh)	počet sedadel	obsazenost	(%)
431	643	průměr ČD	31,2%

(osob/vlak)	výsledek (gCO_2eq/osoba)	výsledek ($kgCO_2eq$/osoba)
200,6	**146,88**	**0,15**

***Obrázek 8**: Hodnoty dosazené do kalkulátoru při výpočtu emisí vlaku ve Scénáři 1.*

dopravní prostředek	emise skleníkových plynů (gCO_2eq/os)			poznámka
	prům. obsazenost	max. obs.	min. obs.	
osobní automobil - benzín	1734,68	451,02	2255,09	max. obsazenost 5 osob
osobní automobil - nafta	1350,19	351,05	1755,25	max. obs. 5 osob
elektromobil	334,85	108,83	435,10	max. obs. 4 osoby
metro	356,55	65,59		max. obs. soupravy 81-71M
tramvaj	482,51	110,10		max. obs. vozu T3R.P
autobus	599,67	100,96		max. obs. vozu SOR 12 NB
vlak	146,90	46,00		max. obs. soupravy CityElefant

***Tabulka 3**: Souhrnné výsledky výpočtů pro Scénář 1.*

4.3. Scénář 2 - Zahraniční cesta po souši

Druhý scénář porovnává dopravní prostředky na zahraniční cestě po souši; srovnávány budou: letadlo, automobil, elektromobil, autobus, vlak. Jako modelová cesta byla vybrána trasa Praha–Paříž.

Letadlo

Pomocí vyhledávače Rome2Rio byly nalezeny dostupné přímé spoje mezi Prahou a Paříží. Jsou jimi spoje Českých aerolinií (dále ČSA), Air France a Vueling. Na těchto spojích operují letadla Airbus A319 (ČSA), Embraer E170 (Air France), Embraer E190 (Air France) a Airbus A320 (Vueling). Prostřednictvím kalkulátoru „Small emitters tool“ od společnosti Eurocontrol (2020) byla zjištěna spotřeba paliva těchto modelů na trase Praha–Paříž, včetně zahrnutí odchylky od přímé trasy (8 %; BEIS 2020a). Jedná se o hodnoty 3,744 kg/km pro Airbus A319, 2,674 kg/km pro Embraer E170, 3,173 kg/km pro Embraer E190 a 3,959 kg/km pro Airbus A320. Počty sedadel byly letadlům přiřazeny dle konfigurace používané příslušnou aerolinkou. Podíl nákladu a obsazenost letadel byla dosazena, jak bylo zmíněno v teoretické části, dle studie BEIS (2020a).

přímá vzdálenost (km)	k_v	typ letadla a délka letu	(kg/km)
851,2	1,08	Airbus A319; Praha-Paříž	3,744

emise ($kgCO_2eq/kg$)	k_{RFI}	odečtení nákladu	k_n
3,1814	1,7	ekvivalentní, do 3000 km	0,9871

počet míst (ekvivalent EC)	obsazenost	(%)	třída
144	průměr pro lety do 3000 km	86,40%	economy class

k_t	emise ($kgCO_2eq$/osoba)
1	147,69

***Obrázek 9**: Hodnoty dosazené do kalkulátoru při výpočtu emisí letadla Airbus A319 ve Scénáři 2.*

Na Obrázku 9 jsou vidět dosazené hodnoty do kalkulátoru na příkladu výpočtu emisí při letu letadlem Airbus A319. Poté byly dosazeny hodnoty spotřeby zbývajících letadel (při zachování ostatních parametrů). V Tabulce 4 je pak výčet všech výsledků.

typ letadla	($kgCO_2eq$/os)
Airbus A319 (ČSA; 144 sedadel)	147,69
Embraer E170 (Air France; 76 sedadel)	199,86
Embraer E190 (Air France; 100 sedadel)	180,24
Airbus A320 (Vueling; 180 sedadel)	124,93

***Tabulka 4**: Hodnoty osobních emisí pro různé typy letadel ve Scénáři 2.*

Automobil

Krátká trasa z Prahy do Paříže (uvažujeme-li v obou případech centrum města) je dle portálu Mapy.cz dlouhá 1017,5 km, tedy o 10,68 % delší, než je let letadlem (jehož délku uvažujeme 919,3 km při 8% navýšení vzdálenosti oproti ortodromě, jak již bylo zmíněno dříve). Do kalkulátoru zadáme příslušné hodnoty podobně, jako tomu bylo ve Scénáři 1. Hodnoty měrné spotřeby jsou dosazeny pro jízdu mimo město. Bohužel se nepodařilo zjistit dostatečně specifická a relevantní data na poli obsazenosti vozu; je proto použita průměrná hodnota 1,7 osoby (Fiorello et al. 2016; FHWA 2018), která ovšem není specifická pro cesty na takto dlouhé vzdálenosti; lze předpokládat, že průměrná obsazenost takových cest se od obecného průměru liší. Ovšem vzhledem k tomu, že obsazenost osobního vozu může cestující obvykle sám ovlivnit svým rozhodováním, bude také spočítána hodnota v obou krajních případech, tedy pro 1 osobu a 5 osob ve voze.

vzdálenost (km)	model automobilu	spotřeba (l/100km)	zdroj dat o spotřebě
1017,5	Fabia II Combi, 1,4 l/63 kW - EU 4 mimo město	5,3	lab. hodnota NEDC 2009

k_{NEDC}	palivo	emise ($kgCO_2eq/l$)	obsazenost
1,2095	benzín	2,168	průměr celkem

(osob/vůz)	emise ($kgCO_2eq$/osoba)	(gCO_2eq/osoba)
1,7	**83,18**	**83181,46**

***Obrázek 10**: Hodnoty dosazené do kalkulátoru při výpočtu emisí automobilu s benzínovým pohonem ve Scénáři 2.*

vzdálenost (km)	model automobilu	spotřeba (l/100km)	zdroj dat o spotřebě
1017,5	Fabia II Combi, 1,4 l/59kW TDI PD - EU 4 mimo město	4	lab. hodnota NEDC 2009

k_{NEDC}	palivo	emise ($kgCO_2eq/l$)	obsazenost
1,2095	nafta	2,546	průměr celkem

(osob/vůz)	emise ($kgCO_2eq$/osoba)	(gCO_2eq/osoba)
1,7	**73,72**	**73724,15**

***Obrázek 11**: Hodnoty dosazené do kalkulátoru při výpočtu emisí automobilu s naftovým pohonem ve Scénáři 2.*

Na Obrázcích 10 a 11 jsou vidět hodnoty zadané do kalkulátoru pro benzínový motor a pro naftový motor, v obou případech při průměrné obsazenosti. V Tabulce 5 je pak vidět souhrn výsledných hodnot pro automobily, včetně uvažované minimální (1 osoba) a maximální (5 osob) obsazenosti.

	1 os/vůz	1,7 os/vůz	5 os/vůz	
benzínový pohon	141,41	83,18	28,28	$kgCO_2eq/os$
naftový pohon	125,33	73,72	25,07	$kgCO_2eq/os$

***Tabulka 5**: Hodnoty osobních emisí pro různé typy pohonu osobního automobilu ve Scénáři 2.*

Elektromobil

Při výpočtu emisí elektromobilu je třeba vzít v potaz překračování hranic, a tedy různé energetické mixy. Zatímco automobily s konvenčním pohonem jsou na dálnicích efektivnější, u elektromobilů je tomu naopak; Škoda Citigo iV má na dálnici při mírném počasí dojezd pouhých 185 kilometrů (EV Database). Za cestu z Prahy do Paříže proto bude potřeba dobíjet elektromobil nejméně pětkrát. Pro zjednodušení uvažujme, že energie spotřebovaná po cestě byla vždy získána ve zdejším státě z místního energetického mixu. Cestu proto musíme rozdělit na 3 úseky, český (163,2 km), německý (472,2 km) a francouzský (382,1 km) a každý z nich počítat samostatně dle environmentální šetrnosti místní elektřiny. Obsazenost uvažujeme stejnou, jako v případě klasického automobilu.

vzdálenost (km)	údaj o spotřebě	(Wh/km)	zdroj elektřiny
163,2	Citigo iV - dálnice, mírné počasí	175	Česko 2019

emise (gCO_2eq/kWh)	obsazenost	(osob/vůz)	emise (gCO_2eq/os)
431	průměr celkem	1,7	7240,80

***Obrázek 12**: Hodnoty dosazené do kalkulátoru při výpočtu emisí elektromobilu ve Scénáři 2; úsek 1/3.*

vzdálenost (km)	údaj o spotřebě	(Wh/km)	zdroj elektřiny
472,2	Citigo iV - dálnice, mírné počasí	175	Německo 2019

emise (gCO_2eq/kWh)	obsazenost	(osob/vůz)	emise (gCO_2eq/os)
338	průměr celkem	1,7	16429,78

***Obrázek 13**: Hodnoty dosazené do kalkulátoru při výpočtu emisí elektromobilu ve Scénáři 2; úsek 2/3.*

vzdálenost (km)	údaj o spotřebě	(Wh/km)	zdroj elektřiny
382,1	Citigo iV - dálnice, mírné počasí	175	Francie 2019

emise (gCO_2eq/kWh)	obsazenost	(osob/vůz)	emise (gCO_2eq/os)
52	průměr celkem	1,7	2045,36

***Obrázek 14:** Hodnoty dosazené do kalkulátoru při výpočtu emisí elektromobilu ve Scénáři 2; úsek 3/3.*

Na Obrázcích 12, 13 a 14 vidíme hodnoty osobních emisí na jednotlivých úsecích; za celou cestu je to 25,72 kgCO_2eq/os. Při minimální obsazenosti by to bylo 43,72 kg a při plné obsazenosti (narozdíl od konvenčních pohonů pouze 4 osoby) 10,93 kg.

Autobus

Pro výpočet cesty autobusem na trase Praha–Paříž byly nejprve vyhledány přímé spoje; nalezeny byly pouze spoje společnosti RegioJet. Konkrétní trasa Praha–Plzeň–Stuttgart–Štrasburk–Paříž (RegioJet 2021) byla pro výpočet vzdálenosti zanesena do mapového portálu Mapy.cz, čímž byla zjištěna vzdálenost 1105,9 km. Dle stránek RegioJetu jsou na linkách používány autobusy Irizar i8, jež mají údajnou spotřebu 26 l paliva na 100 kilometrů (Jones 2017). Ačkoliv se jedná o mezinárodní spoj, je provozován českou společností, a proto budeme uvažovat průměrnou obsazenost spojů v českých podmínkách; nejnovější data o obsazenosti autobusů, která se podařilo dohledat, pochází bohužel již z roku 2008 a jedná se o 61 % (EEA 2012). Jak je vidět na Obrázku 15, po dosazení zmíněných hodnot do kalkulátoru získáme hodnotu 19,67 kg ekvivalentu CO_2 na osobu.

vzdálenost (km)	spotřeba	(l/100km)	palivo
1105,90	Irizar i8	26	nafta

emise (gCO_2eq/l)	obsazenost	obsazenost (%)	(sedadel/vůz)
2546	ČR 2008	61,00%	61

(osob/vůz)	emise (kgCO_2eq/osoba)
37,21	**19,67**

***Obrázek 15**: Hodnoty dosazené do kalkulátoru při výpočtu emisí dálkového autobusu ve Scénáři 2.*

Vlak

Pomocí vyhledávače Rome2Rio byla vyhledána vlaková spojení mezi Prahou a Paříží. Jako nejvhodnější bylo zvoleno spojení s přestupy v Drážďanech a ve Frankfurtu nad Mohanem. Jednotlivé spoje mají dle portálu Rome2Rio délku 184,8 km, 489,9 km a 585,4 km; celkem tedy 1260,1 km. Oproti výpočtu emisí příměstských vlaků je tento výpočet složitější. Každý z dílčích spojů je obsluhován jiným typem vlaku a trasa probíhá územím tří různých států s odlišným energetickým mixem.

Jako první spoj budeme uvažovat Railjet 256 Vindobona z Prahy-Holešovic do Drážďan. Druhý spoj bude rychlovlak ICE 1654 z Drážďan do Frankfurtu a třetím spojem nakonec rychlovlak TGV 9552 z Frankfurtu do Paříže. Kvůli změnám v energetickém mixu je následně potřeba trasu rozdělit na 5 úseků, na nichž budou emise samostatně kalkulovány:

1) Praha-Schöna; 138,2 km, 1. spoj, český energetický mix
2) Schöna-Drážďany; 46,6 km, 1. spoj, německý e. mix
3) Drážďany-Frankfurt; 489,9 km, 2. spoj, německý e. mix
4) Frankfurt-Saarbrücken; 202,6 km, 3. spoj, německý e. mix
5) Saarbrücken-Paříž; 382,8 km, 3. spoj, francouzský e. mix

Na prvním úseku uvažujeme vlak Railjet s vozy Viaggio Comfort. Podobně jako ve Scénáři 1 je zde třeba uchýlit se k neodbornému odhadu spotřeby vlaku na základě údaje o průměrné spotřebě rychlíků Českých drah (dále ČD) v přepočtu na tunokilometr (0,025 kWh; Doleček & Hrubý 2017). Hmotnost všech vagonů bez cestujících je dle výrobce dohromady 351,9 tun (Siemens 2014). Připočteme-li k tomu hmotnost cestujících při průměrné vytíženosti (obsazenost 137,9 osob z max. kapacity 442 osob; ČD 2019, ČD; průměrná hmotnost 77,4 kg; Berdowski et al. 2009), zjistíme odhadovanou hmotnost vlaku 362,57 tun. Při zmíněné spotřebě 0,025 kWh/tkm je spotřeba celého vlaku 9,064 kWh/vlakokm.

Kapacita a spotřeba vlaků ICE3 a TGV byla dosazena dle Fritze et al. (2018). Pro ICE3 budeme tedy uvažovat kapacitu 460 sedadel a spotřebu 27,14 kWh/vlakokm a pro TGV kapacitu 510 sedadel a spotřebu 24,735 kWh/vlakokm (Fritz et al. uvádějí spotřebu ve vztahu k jednomu sedadlu; pro zjištění spotřeby celého vlaku byly proto hodnoty vynásobeny počtem sedadel). Obsazenosti německého a francouzského spoje byly dosazeny o hodnotách 56,1 % a 43 % (Koptyug 2021; Statista 2018a). Na Obrázcích 16 až 20 jsou vidět hodnoty dosazené do kalkulátoru pro každý z pěti dříve definovaných úseků trasy. Po sečtení emisí každého z nich

dostáváme hodnotu 32,33 kg ekvivalentu CO_2 na osobu. V Tabulce 6 jsou pak opět shrnuty hodnoty za celý Scénář 2 a na Mapě 1 je znázorněno, jak se odlišuje průběh trasy v závislosti na uvažovaném dopravním prostředku (trasa elektromobilu je shodná s automobilovou trasou).

vzdálenost (km)	typ soupravy	spotřeba (kWh/vlakokm)	zdroj elektřiny
138,20	Railjet (362,57 t)	9,064	Česko 2019

emise (gCO_2eq/kWh)	počet sedadel	obsazenost	(%)
431	442	průměr ČD	31,2%

(osob/vlak)	výsledek (gCO_2eq/osoba)	výsledek ($kgCO_2eq$/osoba)
137,9	**3 914,97**	**3,91**

***Obrázek 16**: Hodnoty dosazené do kalkulátoru při výpočtu emisí vlaku ve Scénáři 2; úsek 1/5.*

vzdálenost (km)	typ soupravy	spotřeba (kWh/vlakokm)	zdroj elektřiny
46,60	Railjet (362,57 t)	9,064	Německo 2019

emise (gCO_2eq/kWh)	počet sedadel	obsazenost	(%)
338	442	průměr ČD	31,2%

(osob/vlak)	výsledek (gCO_2eq/osoba)	výsledek ($kgCO_2eq$/osoba)
137,9	**1 035,25**	**1,04**

***Obrázek 17**: Hodnoty dosazené do kalkulátoru při výpočtu emisí vlaku ve Scénáři 2; úsek 2/5.*

vzdálenost (km)	typ soupravy	spotřeba (kWh/vlakokm)	zdroj elektřiny
489,90	ICE3	27,14	Německo 2019

emise (gCO_2eq/kWh)	počet sedadel	obsazenost	(%)
338	460	průměr DB (2019)	56,1%

(osob/vlak)	výsledek (gCO_2eq/osoba)	výsledek ($kgCO_2eq$/osoba)
258,1	**17 414,59**	**17,41**

***Obrázek 18**: Hodnoty dosazené do kalkulátoru při výpočtu emisí vlaku ve Scénáři 2; úsek 3/5.*

vzdálenost (km)	typ soupravy	spotřeba (kWh/vlakokm)	zdroj elektřiny
202,60	TGV	24,735	Německo 2019

emise (gCO_2eq/kWh)	počet sedadel	obsazenost	(%)
338	510	průměr Francie (2016)	43,0%

(osob/vlak)	výsledek (gCO_2eq/osoba)	výsledek ($kgCO_2eq$/osoba)
219,3	**7 723,77**	**7,72**

***Obrázek 19**: Hodnoty dosazené do kalkulátoru při výpočtu emisí vlaku ve Scénáři 2; úsek 4/5.*

vzdálenost (km)	typ soupravy	spotřeba (kWh/vlakokm)	zdroj elektřiny
382,80	TGV	24,735	Francie 2019

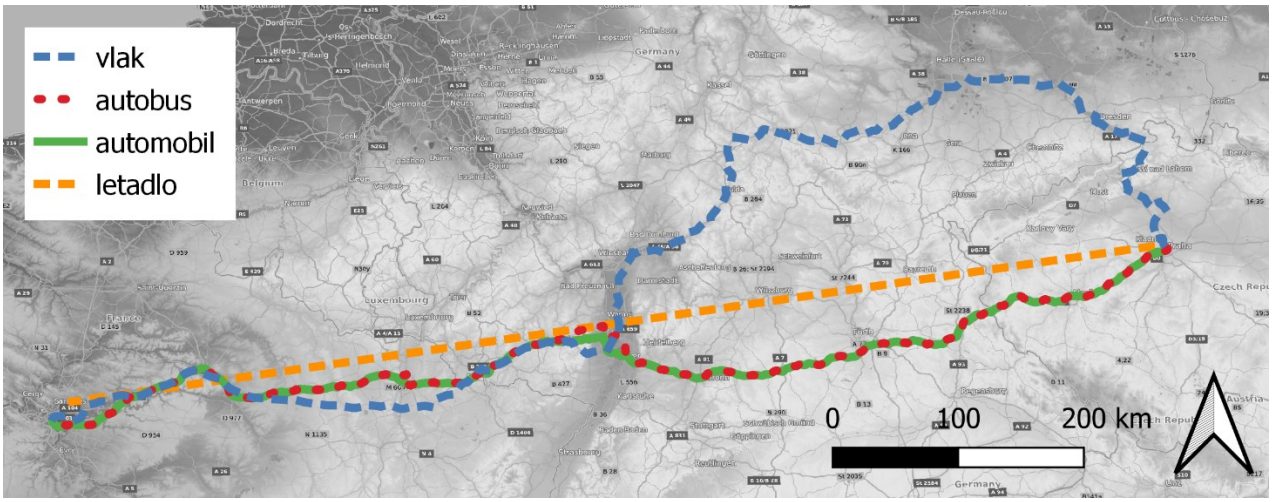
emise (gCO_2eq/kWh)	počet sedadel	obsazenost	(%)
52	510	průměr Francie (2016)	43,0%

(osob/vlak)	výsledek (gCO_2eq/osoba)	výsledek ($kgCO_2eq$/osoba)
219,3	**2 245,17**	**2,25**

***Obrázek 20**: Hodnoty dosazené do kalkulátoru při výpočtu emisí vlaku ve Scénáři 2; úsek 5/5.*

dopravní prostředek	emise skleníkových plynů ($kgCO_2eq$/os)		poznámka
	průměrná obsazenost	maximální obs.	
letadlo Airbus A319	147,69	127,60	
letadlo Embraer E170	199,86	172,68	
letadlo Embraer E190	180,24	155,72	
letadlo Airbus A320	124,93	107,94	
osobní automobil - benzín	83,18	28,28	při obs. 1os/vůz: 141,41
osobní automobil - nafta	73,72	25,07	při obs. 1os/vůz: 125,33
elektromobil	25,72	10,93	při obs. 1os/vůz: 43,72
autobus	19,67	11,84	
vlak	32,33	15,60	

***Tabulka 6**: Souhrnné výsledky výpočtů pro Scénář 2.*



***Mapa 1**: Průběh trasy Praha-Paříž pro jednotlivé dopravní prostředky ve Scénáři 2. Zdroj dat: Rome2Rio, Mapy.cz; Podkladová mapa: OpenStreetMap; vlastní zpracování*

4.4. Scénář 3 - Zaoceánská cesta

V prvním scénáři budou srovnávány pouze tři dopravní prostředky, letadlo, zaoceánská loď a nákladní kontejnerová loď. Vzhledem k tomu, že výchozí bod cesty, tedy Praha, se nachází ve vnitrozemí, je v případě cesty lodí třeba započítat i nezbytnou dopravu do příslušného přístavu.

Letadlo

Výpočet cesty letadlem se v principu neliší od výpočtu letu ve Scénáři 2. Ke zjištění vstupních hodnot ovšem bylo třeba učinit některé odhady. Na trase Praha–New York se nepodařilo najít žádný aktuálně dostupný přímý let. Jak ovšem píše Sůra (2019), v roce 2019 byly mezi Prahou a okolím New Yorku provozovány tři přímé spoje. Současná situace v celosvětové dopravě je výrazně postižena probíhající pandemií a budu proto vycházet z předpokladu, že po skončení pandemie budou stejné či podobné spoje opět dostupné, alespoň sezonně. Ze tří zmíněných spojů bude uvažován spoj od United Airlines z Prahy na letiště Newark. To se sice z katastrálního hlediska nenachází v New Yorku, ovšem přesto leží ze tří letišť, na něž se lze dostat z Prahy přímým letem, nejblíže od Manhattanu. Linka byla obsluhována letadlem Boeing 767-300 o kapacitě 214 sedadel. Z nich je ovšem 30 ve třídě Business a 49 ve třídě *economy plus*, které zabírají více místa. Dle metodiky BEIS (2020) budou proto počty sedadel ve vyšších třídách vynásobeny příslušným koeficientem (2,9 pro *business* a 1,6 pro *economy plus*), čímž dostaneme hrubý odhad počtu sedadel *economy class*, který by se do letadla mohl vejít; jedná se o 300 sedadel. Koeficient pro odečtení nákladu a hodnota průměrné obsazenosti budou

opět dosazeny dle BEIS (2020), tentokrát pro lety o délce nad 3000 km. Dosazením těchto hodnot docílíme výsledku 812,49 kgCO_2eq/os, jak je vidět na Obrázku 21.

přímá vzdálenost (km)	k_v	typ letadla a délka letu	(kg/km)
6572	1,08	Boeing 767-300; Praha-NY	5,94

emise (kgCO_2eq/kg)	k_{RFI}	odečtení nákladu	k_n
3,1814	1,7	ekvivalentní, 3000 a více km	0,868

počet míst (ekvivalent EC)	obsazenost	(%)	třída
300	průměr pro lety 3000 km a více	81,20%	economy class

k_t	emise (kgCO_2eq/osoba)
1	812,49

***Obrázek 21**: Hodnoty dosazené do kalkulátoru při výpočtu emisí letadla ve Scénáři 3.*

Zaoceánská loď

Data o spotřebě a emisích zaoceánské lodi jsou různá; dle společnosti Climate Care se jedná o 0,43 kg oxidu uhličitého na osobokilometr, dle George Monbiota 433 tun paliva denně, v přepočtu pak 2,9 tun paliva a 9,1 tun emisí CO_2 na osobu za zpáteční jízdu na trase Southampton–New York (The Guardian, 2006). Uvažujeme-li délku plavby 5834 km (Seat 61), Monbiotův údaj lze přepočíst na 248,5 g paliva na osobokilometr, tedy 770 g emisí CO_2. Při použití údaje od Climate Care tedy dojdeme k výsledku 2508,6 kg CO_2 za jednu osobu a cestu a při použití dat od George Monbiota dokonce 4550 kg.

Je ovšem třeba vzít v potaz také nezbytnou dopravu z Prahy do výchozího přístavu v Southamptonu. Opět byl použit vyhledávač Rome2Rio a z možných cest byla vybrána kombinace autobusu a vlaku, konkrétně spoj RegioJet z Prahy do Londýna a vlak z Londýna do Southamptonu. Emise autobusu můžeme vypočíst stejně, jako tomu bylo ve Scénáři 2, tedy pomocí excelového kalkulátoru. Vzhledem k tomu, že údaje o emisích zaoceánské lodi výjimečně nejsou přepočtené na ekvivalent CO_2, ale jedná se pouze o množství samotného CO_2, bude stejná jednotka použita i při výpočtu emisí pozemního úseku cesty, aby bylo možné hodnoty sčítat. Toho docílíme pouze tím, že budeme spotřebovanou naftu násobit hodnotou 2,511 kg CO_2 namísto původních 2,546 kg ekvivalentu CO_2 (BEIS 2020b).

Úsek překonaný pomocí autobusu o délce 1316,7 km vyprodukoval 23,1 kgCO_2/os. Pro výpočet emisí vlaku na trase Londýn-Southampton postačí souhrnná hodnota dle BEIS

(2020b), která uvádí přímo emise britské železnice na osobokilometr: 0,03659 kg CO_2. Na 120,6 km dlouhé trase proto emise činí 4,41 kgCO_2eq/os. Jak je vidět, doprava do přístavu je z hlediska emisí oproti samotné zaoceánské lodi takřka zanedbatelná; vyprodukuje 27,51 kgCO_2/os. Emise celé cesty z Prahy do New Yorku je v tomto případě 2536,11 nebo 4577,51 kg CO_2 v závislosti na použitém zdroji dat o emisích zaoceánské lodi.

Kontejnerová loď

Dle CMA CGM má tato nákladní loď kapacitu 8488 TEU, tedy *twenty-foot equivalent unit* (dále TEU), značící maximální počet standardních nákladních kontejnerů, které loď uveze (Wikipedia 2021c). Dle IMO (2009) tudíž spadá do kategorie největších kontejnerových lodí, jejichž emise jsou v průměru 12,5 g CO_2 na tunokilometr při průměrném vytížení. Budeme-li brát v potaz průměrnou váhu nákladu 68 600 tun (IMO 2009), celková spotřeba lodi pak činí 857,5 kgCO_2/km. Dle webu SeaRates urazí loď mezi Le Havre a New Yorkem trasu dlouhou 5814 km, takže celkové emise lodi činí za jednu cestu 4 985 505 kg CO_2.

Je zřejmě patrné, že už samotný výpočet celkové spotřeby byl spíše velmi hrubým odhadem. V případě přepočtu této spotřeby na osobu se již jedná pouze o velmi abstraktní úvahu, vzhledem k tomu, že účelem lodi není osobní doprava a že je prakticky nemožné odhadnout, jaký vliv na emise má případná přítomnost cestujících nad rámec pracovníků na lodi. Nicméně, o tento přepočet se i tak pokusím. V úvahu připadají dva způsoby přepočtu: dle objemu a dle hmotnosti.

Nejdříve bude podíl emisí přepočten na základě objemu. Na lodi je dohromady 5 dvojlůžkových kabin o celkové rozloze 108 m^2 (Voyages en Cargo), což v průměru znamená 10,8 m^2 na osobu. Budeme-li předpokládat, že mají kajuty průměrnou výšku na poměry výletních lodí, tedy 2,1 m (Shida & Xiaobo, 2019), dostáváme se na 22,68 m^3 prostoru na jednoho cestujícího nad rámec zaměstnanců. Přepočteme-li tuto hodnotu na *twenty-foot equivalent unit*, bude to 0,683 TEU. Uvážíme-li, že loď průměrně převáží 5941,6 TEU (při kapacitě 8488 TEU a průměrné vytíženosti 70 %; IMO 2009), prostor zabraný jedním cestujícím je tedy roven 0,0115 % celkového nákladu. Vynásobíme-li tímto poměrem celkové emise lodi, získáme hodnotu 573 kg CO_2.

Nyní bude podíl emisí odhadnut na základě hmotnosti. Uvažujme opět průměrnou hmotnost cestujícího 77,4 kg (Berdowski et al. 2009). Vzhledem k tomu, že cesta trvá 8 dní (Voyages en Cargo), lze předpokládat, že cestující s sebou poveze i větší zavazadlo. Berdowski et al. uvádějí průměrnou hmotnost odbaveného zavazadla na interkontinentálních letech 18 kg, kterážto

hodnota bude pro absenci vhodnějšího zdroje použita, přestože se nejedná o let. Je také třeba vzít v potaz základní potřeby, především vodu. Stepan doporučuje při delších cestách počítat se 75 litry vody na osobu; v našem případě tedy uvažujme 600 litrů. Kromě toho je třeba započíst také nezbytné zásoby jídla; zde se opět nepodařilo dohledat odborná data, nicméně se již pohybujeme tak či tak ve velmi hrubých odhadech, uvažujme tedy 4 libry, tedy 1,81 kg jídla na osobu na den, jak naznačuje Andrews. Tím se dostáváme na nezbytnou hmotnost 709,9 kg na osobu. Tato hmotnost tvoří vůči odhadované hmotnosti veškerého nákladu (68 600 tun; IMO 2009) pouhých 0,001035 %, tím pádem jen 51,59 kg CO_2.

K tomu je ovšem třeba přičíst emise nezbytného transportu z Prahy do Le Havre, podobně jako tomu bylo u cesty zaoceánskou lodí; opět budou počítány pouze kilogramy CO_2, a nikoliv ekvivalentu CO_2. Vyhledávačem Rome2Rio byly vyhledány dostupné cesty a vybrána byla cesta autobusem s přestupem v Paříži. Úsek Praha-Paříž je shodný s autobusovým spojem ve Scénáři 2 a proto stačí výpočet opakovat, ovšem pro výpočet samotného CO_2 – emise jsou zde 19,4 kgCO_2/os. Na úseku Paříž-Le Havre byl pak vybrán spoj obsluhovaný FlixBusem. Dle webu Československý dopravák (2015) používá FlixBus autobusy Setra S431DT, které mají kapacitu 79 sedadel a spotřebu 35 l/100km (Arselina). Nepodařilo se bohužel potvrdit, zda jsou tyto používány specificky i na uvažované trase Paříž–Le Havre. Při průměrné obsazenosti autobusů ve Francii v roce 2017 (53,8 %; Statista, 2018b) činí osobní emise na této trase 4,11 kg CO_2. Celá cesta do přístavu tak vyprodukuje 23,51 kgCO_2/os. Hodnoty emisí za celou cestu z Prahy do New Yorku jsou pak 596,51 kg CO_2 pokud zvolíme přepočet emisí kontejnerové lodi dle objemu a pouhých 75,1 kg CO_2, pokud jsme zvolili přepočet skrze hmotnost. Rozdíl jednoho řádu mezi hodnotami naznačuje, že alespoň jedna z hodnot je chybná a na hodnoty je třeba nahlížet odpovídajícím způsobem. Shrnutí hodnot dosažených ve Scénáři 3 je k vidění v Tabulce 7. Vzhledem k praktické nevyužitelnosti tohoto typu dopravy a nejasnosti vstupních dat nebudu výsledky dále prověřovat.

dopravní prostředek	emise skleníkových plynů		poznámka
	průměrná obsazenost	maximální obsazenost	
letadlo Boeing 767-300	812,49	659,74	$kgCO_2eq/os$
zaoceánská loď; Climate Care	2536,11		$kgCO_2/os$
zaoceánská loď; George Monbiot	4577,51		$kgCO_2/os$
kontejnerová loď; dle objemu	596,51		$kgCO_2/os$
kontejnerová loď; dle hmotnosti	75,10		$kgCO_2/os$

***Tabulka 7**: Souhrnné výsledky výpočtů pro Scénář 3.*

4.5. Výpočet srovnávacích hodnot dle databáze EcoInvent

Na závěr praktické části je ještě třeba zpracovat data z databáze EcoInvent, aby bylo možné je v diskuzi srovnat s vlastními výsledky v jednotlivých scénářích. Data byla vybrána z databáze EcoInvent ve verzi 3.7.1 a zpracována metodou ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.03 / World (2010) H v prostředí SimaPro 9.0.0.35. Pro srovnání je uvažována kategorie dopadů „Global warming“, tedy „Globální oteplování“, udávaná v přepočtu na kg ekvivalentu CO_2. Referenční jednotkou je pro většinu dopravních prostředků 1 osobokilometr, ovšem v případě osobních automobilů je to 1 vozokilometr a v případě námořní dopravy nákladu 1 tunokilometr.

Pro každý ze tří scénářů byla vytvořena tabulka shrnující výsledky analogické k hodnotám již vypočítaným zde v praktické části. Jsou uvažovány stejné trasy a stejné konkrétní vzdálenosti překonané jednotlivými dopravními prostředky. V případě osobních automobilů je hodnota pro 1 vozokilometr také přepočítána na průměrnou obsazenost za použití stejných hodnot, jaké byly použity v dřívějších výpočtech (tj. 1,3 os/vůz pro městskou dojížďku a 1,7 os/vůz pro zahraniční cestu).

Je třeba zdůraznit, že hodnoty z EI jsou na jedné straně relevantními odbornými daty, na druhé straně jsou velmi obecné. Údaje pro automobily jsou uvažovány pro vozy malé velikosti splňující normu Euro 4. Hodnoty pro letadla jsou udány pro intrakontinentální lety v případě Scénáře 2 a pro interkontinentální lety v případě Scénáře 3, v obou případech bez ohledu na specifický model letadla. Hodnoty pro autobus jsou platné celosvětově; ve Scénáři 1 byl uvažován obyčejný autobus („regular bus“) a ve Scénáři 2 dálkový autobus („passenger coach“). Hodnota pro tramvaj je uváděna pro celý svět, tedy není brán v úvahu místní energetický zdroj. V případě elektromobilu jsou použita ve Scénáři 1 data specifická pro Česko a ve Scénáři 2

univerzální data pro celý svět. Dopady dopravy metrem v databázi nejsou zmíněny a nebude proto možné je srovnat. V případě vlaků jsou k dispozici specifická data pro vysokorychlostní vlaky v Německu a ve Francii. Úseky cesty na francouzském a německém území byly tím pádem vypočteny z příslušné hodnoty a zbývající úsek na českém území byl vypočten údaje pro osobní vlaky, vč. přepočtu na český energetický zdroj. Hodnota pro příměstský vlak v Praze byla dosazena pro městský vlak s českým energetickým zdrojem. Hodnoty emisí dle EI aplikované na tři scénáře jsou vypsány v Tabulkách 8, 9 a 10.

dopravní prostředek	emise skleníkových plynů (gCO_2eq/os)			poznámka
	1 os/vůz	prům. obsazenost	max. obs.	
osobní automobil - benzín	2878,14	2213,96	575,63	max. obs. 5 os
osobní automobil - nafta	2349,13	1807,02	469,83	max. obs. 5 os
elektromobil	2340,01	1800,00	585,00	max. obs. 4 os
tramvaj		916,47		
autobus		1065,98		
vlak		718,30		

***Tabulka 8**: Data z databáze EcoInvent aplikovaná na podmínky Scénáře 1. Zdroj: EcoInvent (2020); vlastní zpracování.*

dopravní prostředek	vzdálenost (km)	emise skleníkových plynů ($kgCO_2eq$/os)			poznámka
		1 os/vůz	prům. obsazenost	max. obs.	
letadlo	919,3		154,65		
osobní automobil - benzín	1017,5	292,85	172,27	58,57	max. obs. 5 os
osobní automobil - nafta	1017,5	239,02	140,60	47,80	max. obs. 5 os
elektromobil	1017,5	239,76	141,03	59,94	max. obs. 4 os
autobus	1105,9		59,72		
vlak celkem	1260,1		66,78		

***Tabulka 9**: Data z databáze EcoInvent aplikovaná na podmínky Scénáře 2. Zdroj: EcoInvent (2020); vlastní zpracování.*

dopravní prostředek	vzdálenost (km)	emise skleníkových plynů (kgCO2eq/os)
letadlo	6572	716,33

***Tabulka 10**: Data z databáze EcoInvent aplikovaná na podmínky Scénáře 3. Zdroj: EcoInvent (2020); vlastní zpracování.*

Údaj pro nákladní loď je specifikován pro zaoceánskou nákladní loď, ovšem nebude přepočten na osobu, protože by se jednalo jen o neodborný odhad (viz 5.3. Diskuze Scénáře 3). Dle EI se jedná o 11,38 g ekvivalentu CO_2 na tunokilometr.

5. Diskuze

V této části budou interpretovány a diskutovány výsledky z praktické části, zvlášť pro každý ze tří scénářů. Ještě předtím je vhodné připomenout, že výsledky vlastních výpočtů nelze považovat za plně reprezentativní nebo všeobecně platné; ve výpočtech jsem se uchýlil k mnoha odhadům a mnohé z použitých datových zdrojů byly zastaralé nebo nedokonalé. V rámci možností jsem se nicméně snažil co nevíce přiblížit reálným hodnotám.

Při vyhodnocení výsledků se budeme muset potýkat s obecným dilematem rozprostření viny či zodpovědnosti, chcete-li. Když cestující nemůže přímo ovlivnit obsazenost veřejné dopravy, měly by mu být přisuzovány emise vypočtené dle průměrné hodnoty? Nabízí se alternativní přístup v podobě přepočtu emisí na jedno místo dle kapacity daného vozu. Emise náležící prázdným místům pak považovat za zodpovědnost dopravce, který nevyužil efektivně svou kapacitu. Ovšem představa dokonale naplněných spojů je pochopitelně naprosto nereálná a nekomfortní, počítáme-li i místa ke stání. Kromě toho, i v prázdných spojích můžeme vidět smysl, obzvlášť v případě veřejné hromadné dopravy. Vědomí, že se člověk může spolehnout na dostupnost dopravy, může hrát zásadní roli třeba při volbě bydliště. Kdybychom od dopravců očekávali maximální efektivitu, znamenalo by to v méně frekventovaných oblastech dramatické omezení frekvence spojů, nebo jejich úplné zrušení. Proto, alespoň dle mého osobního názoru, dává smysl brát v případě hromadné dopravy v potaz průměrnou vytíženost v rámci většího celku (město/stát) a konkrétní obsazenost uvažovat jen tam, kde ji cestující může sám ovlivnit.

5.1. Diskuze Scénáře 1

V prvním scénáři byly porovnány dopravní prostředky pro dojížďku do práce či zaměstnání v prostředí hl. m. Prahy, jejíž délka byla stanovena ve všech případech na 10 km. Pokud bychom brali v potaz jen samotné emise skleníkových plynů při průměrné obsazenosti, nejšetrnější volbou je vlak s emisemi 146,9 gCO_2eq/os. Následuje elektromobil se 334,85 gramy a metro se 356,55 gCO_2eq/os. K méně efektivním prostředkům hromadné dopravy pak patří tramvaj a autobus; tramvaj vyprodukuje na osobu 482,51 gCO_2eq/os a autobus 599,67. Zůstaneme-li při průměrné obsazenosti, nejméně úspornými variantami jsou osobní automobily, přičemž nafta je z hlediska emisí skleníkových plynů šetrnější (1350,19 gCO_2eq/os) a největší emise vychází pro benzínový automobil, 1734,68 gCO_2eq/os.

Zde je vhodné zaměřit se více na otázku obsazenosti. Zatímco u veřejné hromadné dopravy má smysl počítat s průměrnou obsazeností, neboť se jedná o faktor, který sami svým chováním bezprostředně neovlivníme, v případě osobních automobilů (vč. elektromobilu) je obsazenost zpravidla plně v moci cestujícího a nemá proto smysl počítat se statistickou desetinnou hodnotou. Počítání s průměrnou obsazeností v automobilech má své opodstatnění, hodnotíme-li automobilovou dopravu statisticky, jako celek; pro účel každodenního rozhodování má ovšem smysl počítat s konkrétní obsazeností v dané situaci.

Pod tímto úhlem pohledu je třeba zmínit, že využijeme-li osobní automobily maximálně, v případě zvolených vzorových vozů tedy pěti cestujícími, osobní emise budou již jen 451,02 gCO_2eq/os pro benzínovou variantu a 351,05 gCO_2eq/os pro naftovou. Takové hodnoty jsou již srovnatelné s veřejnou dopravou. V případě elektromobilu, který má v našem případě maximální kapacitu 4 osoby, se lze stoprocentním využitím dostat na hodnotu 108,83 gCO_2eq/os, což by jej řadilo na druhé místo za vlakem (počítáme-li pro vlak stále průměrné, a nikoliv maximální vytížení).

Je ovšem pravděpodobné, že bude-li se někdo rozhodovat, jakým způsobem se denně dopravovat do školy či práce, bude velmi těžké využít plnou kapacitu vlastního automobilu (průměrná obsazenost vozů na pražských silnicích o hodnotě 1,3 osoby je toho důkazem; TSK Praha 2020) a nejšetrnější volbou tedy bude, jak se dalo očekávat, jednoznačně hromadná doprava. V rámci hromadné dopravy je pak nejlepší volbou vlak, dále metro, tramvaj a nakonec autobus. Tato volba bude ovšem determinována spíše konkrétní dostupností v daném místě; ostatně, dojížďka je v mnohých případech tvořena kombinací více dopravních prostředků.

Také je otázkou, zda bylo vhodné počítat pro všechny dopravní prostředky shodnou vzdálenost, když mají odlišné dopravní rychlosti. Při formování vztahů mezi periferií a městem totiž čas jistě hraje větší roli než vzdálenost; jinými slovy, vlak je sice nejšetrnějším dopravním prostředkem v přepočtu na kilometr, ale zachoval by si své prvenství i kdybychom přepočetli tyto emise na 30 minut jízdy? Za takovou dobu by jistě zdolal mnohem větší vzdálenost, než tramvaj či autobus. Nicméně to už je otázka spíše pro sídelní geografii, a nikoliv pro výpočet emisí v již předurčené situaci.

Nyní budou tyto výsledky dány do kontextu hodnot z databáze EI, které jsou pořízeny metodou posouzení životního cyklu (LCA). Hodnoty z EI dosazené do rámce Scénáře 1 jsou vidět v Tabulce 8 (s. 45), výsledky mých výpočtů pak v Tabulce 3 (s. 32). Když pomineme absenci

metra v datech EI, pořadí dopravních prostředků hromadné dopravy zůstává stejné: nejnižší hodnotu emisí má vlak, následuje tramvaj a nakonec autobus. Za zmínku ovšem stojí notný rozdíl v případě vlaku; výsledek dle EI je 4,89× vyšší než moje hodnota. Jisté navýšení lze přisoudit tomu, že EI zahrnuje kromě samotného provozu např. také údržbu vozů nebo budování infrastruktury. Nad rámec tohoto však může být důvodem i nesprávný odhad obsazenosti a spotřeby v praktické části.

Další zajímavý rozdíl nacházíme především mezi osobními automobily a elektromobily. Zatímco dle mých výsledků je elektromobil při průměrné obsazenosti výrazně šetrnější než konvenční automobily, a dokonce šetrnější než tramvaj, metro i autobus, dle dat EI je náročnost elektromobilu v českých podmínkách srovnatelná s benzínovým a naftovým automobilem. Důvodů, které se na tomto podílí, je zřejmě více. Zaprvé, EI nerozlišuje městský a mimoměstský styl jízdy. Konvenční pohony jsou ve městě obecně méně efektivní, zatímco spotřeba elektromobilů stoupá naopak při vyšších rychlostech na dálnici. Zanedbání tohoto rozdílu tedy ve Scénáři 1 jasně zvýhodňuje automobily na úkor elektromobilů. Dále je třeba uvažovat, že data EI pro elektromobil jsou obecně platná pro všechna elektrická auta, ovšem zde zvolený vzorový model, Škoda Citigo iV, patří k těm menším a tím pádem i úspornějším. V případě elektromobilů také zřejmě hraje roli vyšší náročnost výroby vozidla a baterie. Lze předpokládat, že v zemích s šetrnějším energetickým mixem by ovšem emise elektromobilů byly výrazně nižší.

5.2. Diskuze Scénáře 2

Ve druhém scénáři byly srovnávány dostupné dopravní prostředky při zahraniční cestě po souši na konkrétním případu cesty z Prahy do Paříže. Při průměrné obsazenosti se zdá být nejšetrnější volbou autobus s hodnotou 19,67 $kgCO_2eq/os$. Podobné hodnoty dosahuje také elektromobil se 25,72 $kgCO_2eq/os$ a vlak, který vyprodukuje 32,33 $kgCO_2eq/os$. Stojí za zmínku, že jistým hendikepem vlaku byla i znatelně delší vzdálenost; kdybychom uvažovali stejnou vzdálenost jako pro autobus, se stejným poměrem energetických mixů, emise by byly jen 28,37 $kgCO_2eq/os$. To by ovšem nic nezměnilo na výsledném pořadí dopravních prostředků. Nehledě na to, že cílem bylo porovnat dopravní prostředky v konkrétní modelové situaci, tedy je nutné počítat i s různými délkami konkrétních spojů. Dále jsou v pořadí, ovšem se znatelným odstupem, oba konvenční pohony automobilu: nafta 73,72 a benzín 83,18 $kgCO_2eq/os$. Není překvapením, že největší emise mají letadla; zajímavá je ovšem

poměrně velká rozmanitost dle konkrétního modelu; v pořadí Embraer E170, Embraer E190, Airbus A319 a Airbus A320 se jedná o hodnoty 199,86, 180,24, 147,69 a 124,93 $kgCO_2eq/os$.

Jak již bylo zmíněno v diskuzi o Scénáři 1, u automobilů a elektromobilů velmi záleží na obsazenosti, kterou může cestující narozdíl od veřejné dopravy sám ovlivnit. Tento případ je dobrou ukázkou. Zatímco při obsazení všech sedadel by se elektromobil stal úspornějším, než kterýkoliv průměrně obsazený hromadný dopravní prostředek (10,93 $kgCO_2eq/os$) a klasické automobily by se zařadily mezi průměrně obsazený autobus a vlak s hodnotami 28,28 a 25,07 $kgCO_2eq/os$, při minimálním obsazení by konvenční automobily vyprodukovaly na osobu více emisí než letadlo Airbus A320 (141,41 a 125,33 $kgCO_2eq/os$)!

Scénář 2 nám tedy ukázal zajímavá zjištění (byť jen v rovině odhadů); vlak je zde narozdíl od Scénáře 1 méně šetrný než autobus a letadla jsou srovnatelná s automobily, je-li automobil obsazen jen samotným řidičem.

Nyní budou výsledky srovnány s daty EI. Jak vidíme na Tabulkách 6 a 9 (s. 39 a 45), pořadí hromadné dopravy zůstalo opět stejné. Nejlépe vychází autobus, následuje vlak a nakonec letadlo. Stojí za zmínku, že zatímco autobus i vlak mají dle EI výrazně vyšší emise než dle mých výsledků (19,67 a 32,33 $kgCO_2eq/os$ oproti 59,72 a 66,78 $kgCO_2eq/os$), emise letadla vyšly dle EI velmi podobně mým výpočtům, což je překvapivé; data EI totiž počítají i s emisemi způsobenými např. výrobou strojů. Zdá se, že ostatní faktory jsou u letadel zanedbatelné vůči velké spotřebě paliva a dlouhým překonaným vzdálenostem. Také je možné, že data EI počítají s nižším RFI faktorem, než tomu bylo v této práci.

Hodnoty pro automobily a elektromobily zde vycházejí ve stejném duchu, jako tomu bylo u dat EI ve Scénáři 1. Elektromobil vychází při průměrné obsazenosti téměř shodně s naftovým pohonem (141,03 a 140,6 $kgCO_2eq/os$), benzínový pohon je ještě o něco méně úsporný (172,27 $kgCO_2eq/os$). Uvážíme-li, že by v automobilech a elektromobilu seděl pouze samotný řidič, budou emise dokonce výrazně vyšší (239,02, 239,76 a 292,85 $kgCO_2eq/os$), než emise letadla na stejné trase (154,65 $kgCO_2eq/os$).

5.3. Diskuze Scénáře 3

Poslední scénář je velmi specifický; obě alternativy byly velmi náročné na výpočet emisí a zhodnocení výsledků zde bude mít spíše podobu úvahy. Letadlo na trase Praha–New York vyprodukuje 812,49 $kgCO_2eq$/os; to je v přepočtu na kilometr méně než u letu Praha–Paříž, což ovšem není překvapením (viz Teoretickou část). Byť byly emise zaoceánské lodi počítány na základě dat z neodborného zdroje, díky hodnotám 2536,11 a 4577,51 $kgCO_2eq$/os (v závislosti na použitém zdroji dat) můžeme celkem s jistotou říct, že zaoceánská loď šetrnější alternativou není.

V případě kajuty na kontejnerové nákladní lodi je tomu jinak. Osobní emise případného cestujícího zde byly vypočteny dle objemu kajuty (596,51 $kgCO_2eq$/os) a dle hmotnosti pasažéra a nezbytných zásob (75,1 $kgCO_2eq$/os); obě hodnoty se výrazně liší. To může být do značné míry způsobeno neodborným zacházením s nedostačujícími daty. Na druhou stranu, přepočet emisí nákladní lodi na osobu je velmi těžko uchopitelný proces, vzhledem k tomu, že hlavním účelem takové lodi není přeprava osob. Byť jsou obě odhadnuté hodnoty odlišné, obě jsou nižší než emise letadla na stejné trase. Uvážíme-li, že nákladní lodi fungují bez ohledu na počet cestujících, jako logičtější se zdá přepočet dle hmotnosti. Kajuty jsou na lodi již vybudované a budou se pohybovat po nákladních trasách tak či onak; případná účast pasažéra tak navýší celkovou spotřebu jen o nezbytné zásoby. Zdá se tedy, že blíže k objektivní pravdě má hodnota 75,1 $kgCO_2eq$/os. Nicméně, tato alternativa neřeší problém jako takový. Kapacity osobní přepravy na nákladních lodích jsou zanedbatelné a pro jednotlivce se navíc jedná o extrémní komplikaci oproti letadlu. Cesta na lodi je totiž velmi drahá (nejméně 1680 €) a časově náročná (8 dní; Voyages en Cargo).

Data EI nám v případě tohoto Scénáře již mnoho nových informací neposkytnou. Emise letadla, uvedené v Tabulce 10 (s. 45) vycházejí dle EI dokonce nižší, než je tomu v mých výsledcích (716,33 oproti 812,59 $kgCO_2eq$/os). Je možné, že je to dáno již zmíněnou volbou jiného RFI faktoru nebo tím, že konkrétní letadlo na uvažované trase mělo nadprůměrnou spotřebu paliva oproti té, s níž počítá EI. Pro zaoceánské lodě EI data neposkytuje. Pro nákladní lodě ano, ovšem jedná se o průměrný údaj pro všechny zaoceánské nákladní lodě bez ohledu na velikost. Kromě toho, výpočet hodnoty osobních emisí z dat pro nákladní loď byl poměrně složitý a vyžadoval řadu odhadů (viz Praktickou část). Lze tedy jen konstatovat, že hodnota 11,38 gCO_2eq na tunokilometr dle EI je velmi podobná mnou uvažované hodnotě 12,5 gCO_2 na tunokilometr; tato vstupní hodnota by tedy zřejmě zásadní rozdíl nezpůsobila. Správnost přepočtu na osobu nám ovšem EI potvrdit nepomůže.

5.4. Zasazení výsledků do širšího kontextu

Pro účely názorného srovnání jednotlivých dopravních prostředků byly brány v potaz pouze jejich emise skleníkových plynů produkované přímo či nepřímo samotným procesem dopravy. Každý ze způsobů dopravy s sebou ovšem nese množství dalších externalit, které lze mnohdy obtížně kvantifikovat. O takovou kvantifikaci se pokouší metoda posouzení životního cyklu, jejíž příkladem je právě použitý EcoInvent. Je ovšem otázkou, zda takové hodnoty opravdu správně vyjadřují veškeré dopady a hlavně, zda je taková hodnota pochopitelná a důvěryhodná pro širokou veřejnost. Dopady dopravy mohou souviset mj. právě s produkcí samotných vozů nebo s požadavky na infrastrukturu; za zmínku pak stojí také třeba související hlukové či světelné znečištění a fragmentace krajiny.

Je třeba zdůraznit, že v případě všech dopravních prostředků poháněných elektřinou je zásadní šetrnost místního energetického mixu a ta se může v různých státech lišit zcela zásadně. V případě této práce lze největší rozdíl pozorovat mezi hodnotou francouzského mixu (52 gCO_2eq/kWh; EEA 2020) a českého mixu (431 gCO_2eq/kWh; EEA 2020). Jinde ovšem můžeme najít až neuvěřitelný stonásobný rozdíl; zatímco Švédsko vyprodukuje na kWh elektřiny jen 8 g ekvivalentu CO_2, v Estonsku je to 891 g (EEA 2020). Významná role energetiky nám tedy naznačuje, že bude-li se dařit snižování emisí energetiky, budou se také snižovat emise elektrických dopravních prostředků, zatímco emise dopravních prostředků poháněných fosilními palivy zůstanou z podstaty věci stejné.

Ačkoliv jsou emise skleníkových plynů zásadním faktorem hrající roli v mitigaci klimatické změny, představuje osobní doprava zdroj zhruba „jen“ 11,8 % globálních emisí CO_2 (Climate Watch 2021; Ritchie 2020) a je třeba si proto uvědomit, že v zájmu mitigace je třeba změnit své chování i v dalších oblastech života.

Jak již bylo uvedeno v úvodu této práce, hlavním cílem je vytvoření srozumitelného srovnání možných způsobů dopravy v různých scénářích z každodenního života. Jak ovšem uvádí i Van Der Werff (2019), dobrovolná ohleduplnost uvědomělých jednotlivců je jen jedním z prostředků k docílení udržitelnější dopravy. Rozhodování jednotlivců je zásadně ovlivňováno a limitováno dostupnými možnostmi. V mnohých případech je udržitelnější forma dopravy nepoměrně nákladnější, méně komfortní, nebo dokonce zcela nedostupná, jak se ukázalo ve Scénáři 3. Proto je na místě, aby byl tento trend podpořen i seshora, tedy např. zdokonalením infrastruktury nebo finančním zvýhodněním udržitelnějších způsobů dopravy.

Na začátku práce byl zmíněn pojem *flygskam*, tedy *stud z létání*, který se v posledních letech hojně objevuje v médiích a poukazuje na nešetrnost letecké dopravy vůči životnímu prostředí. Mé výsledky potvrzují, že z hromadných dopravních prostředků jsou letadla opravdu nejméně šetrná, ovšem nejedná se o vyloženě dramatický rozdíl. Obzvlášť bereme-li v úvahu výsledky získané z dat EI, zdá se, že v mnohých situacích může být ještě horší volbou cesta automobilem či elektromobilem, pokud nejsou efektivně zaplněny. V některých situacích pak dostupná a praktická alternativa k letadlu vůbec neexistuje, jak ukázal Scénář 3. Pokud má člověk dobrý důvod cestovat na takovou vzdálenost, užití letadla je zcela pochopitelné.

Snadná a dostupná letecká doprava ovšem umožňuje tak dlouhé cesty, které by jinak bylo velmi obtížné uskutečnit. Např. cesta z Evropy na Nový Zéland, o níž se jednalo ve studii Highama & Cohena (2011), by byla pomyslnou ranou pro životní prostředí i kdyby bylo možné ji absolvovat jiným dopravním prostředkem. Větším problémem je tedy možná náš dnešní postoj k dopravě jako takové a to, že cestování na velké vzdálenosti považujeme za samozřejmou součást moderního životního stylu. De Matteis (2019) ve svém modelu zjišťuje, že z antropogenních příčin klimatické změny jsou zhruba dvě třetiny způsobeny zámožným životním stylem a jedna třetina demografickým tlakem. Technologický pokrok se pak mnohem více než na mitigaci klimatické změny podílí na zesílení demografického tlaku a zámožného životního stylu. V závěru své práce De Matteis (2019) uvádí: „Přijetí skutečnosti, že moderní ekonomický růst, moderní životní styl a demografický tlak stojí za zvyšujícími se hodnotami atmosférického CO_2 a že je nad možnosti našich technických kapacit potlačit hrozbu globálního oteplování, znamená zásadní politické implikace. Zpochybňuje to samotný základ ekonomického růstu a moderního životního stylu a naznačuje nám, že bude nutné učinit zásadní změny v našem chování.“

6. Závěr

Hlavním záměrem práce bylo srovnání dopravních prostředků v situacích z běžného života, které bude v rámci možností co možná nejpřesnější, ale zároveň bude díky své jednoduchosti názorné a srozumitelné. Výsledky Scénáře 1 ukázaly, že při dojížďce v městském prostředí vyprodukuje nejméně emisí na osobu vlak (146,9 gCO_2eq/os), následuje elektromobil a metro. Výrazně méně šetrná jsou pak auta poháněná benzínem či naftou (451,02 a 351,05 gCO_2eq/os při průměrné obsazenosti). I automobily ovšem mohou dosáhnout hodnot srovnatelných s hromadnou dopravou, jsou-li v nich využita všechna sedadla.

Ve Scénáři 2 byla uvažována zahraniční cesta po souši, konkrétně na trase Praha–Paříž. Při průměrné obsazenosti se jako nejšetrnější volba ukázal být autobus (19,67 $kgCO_2eq/os$), za nímž s relativně malým odstupem následoval elektromobil a vlak. Automobily na konvenční pohon (benzín a nafta) následovaly se znatelným odstupem a nejvíce emisí by vyprodukovala letadla (124,93 až 199,86 $kgCO_2eq/os$ v závislosti na konkrétním typu). Nicméně opět je důležitým faktorem obsazenost, kterou může cestující v případě automobilů sám ovlivnit; automobily obsazené jednou osobou by produkovaly podobné množství emisí jako letadla a plně obsazené automobily by naopak dosáhly hodnot srovnatelných s pozemní hromadnou dopravou.

Scénář 3 ukázal, že při zaoceánských cestách je jedinou potenciálně šetrnější alternativou k letadlu finančně i časově velmi náročná plavba na nákladní kontejnerové lodi. Zaoceánská loď určená k dopravě osob se naopak zdá být ještě výrazně méně šetrnou volbou než letadlo.

Vlastní výsledky byly nakonec srovnány s daty z databáze EcoInvent, která jsou pořizována metodou posouzení životního cyklu. Toto srovnání ukázalo, že emise samotného provozu vypovídají o náročnosti daného způsobu dopravy jen částečně a náklady na výrobu samotného vozidla či na budování infrastruktury mohou hrát také významnou roli; rozdíl byl oproti mým výsledkům někdy až několikanásobný. Použití dat EcoInvent by v některých případech znamenalo odlišné pořadí dopravních prostředků; obzvlášť pak hovoří proti zdánlivé šetrnosti elektromobilů; jejich emise vychází dle EI podobně, jako emise konvenčních automobilů, alespoň tedy ve zkoumaných podmínkách. Dopady elektřinou poháněných dopravních prostředků jsou významně spjaty s místním energetickým mixem a vyhlídka uhlíkově šetrnější energetiky by pak hovořila v jejich prospěch.

Ve vlastních výpočtech jsem kromě nedostatku kvalitních dat narážel také na otázky, které se spíše než na poli přírodních věd pohybují ve filosofické či etické rovině. Samotná znalost emisí dopravního prostředku ještě nestačí k přiřazení jejich podílu konkrétní osobě. Toto se ukázalo být problémem obzvlášť u nákladní kontejnerové lodi ve Scénáři 3.

Výsledky práce nelze považovat za univerzální odpověď na otázku, jaký způsob dopravy je z hlediska emisí nejšetrnější; nastiňují ovšem, jaká by tato odpověď mohla být, jaké faktory ji ovlivňují a proč může být taková odpověď sporná. Přiložený kalkulátor pak umožní potenciálnímu uživateli zjistit přibližné hodnoty emisí dopravního prostředku v jím zvolené konkrétní situaci a uvědomit si, jak silný je přibližně vliv jednotlivých vstupních hodnot. Stejně tak může najít kalkulátor pro svou transparentnost využití při osvětě či při výuce environmentální výchovy.

7. Seznam použitých zdrojů

7.1. Literatura

ANDERSSON, H. (2019): Designing Digital Nudges for Sustainable Travel Decisions. Umeå University.

BEKAROO, G., ROOPOWA, D., ZAKARI, A., NIEMEIER, D. (2021): Calculating carbon emissions from personal travelling: insights from a top-down analysis of key calculators. Environmental Science and Pollution Research, r. 28, č. 7, s. 8853-8872.

DE MATTEIS, A. (2019): Decomposing the anthropogenic causes of climate change. Environment Development and Sustainability, r. 21, č. 1, s. 165-179.

DOLEČEK, R., HRUBÝ, J., (2017): Aktuální možnosti určování spotřeby elektrické energie vlaků v osobní a nákladní dopravě. Vědeckotechnický sborník ČD, č. 43/2017.

FINGERMANNOVÁ, J. (2015): Vyhodnocení spotřeby energie v osobní dopravě. Diplomová práce. Fakulta dopravní, České vysoké učení technické v Praze.

FIORELLO, D., MARTINO, A., ZANI, L., CHRISTIDIS, P., NAVAJAS-CAWOOD, E. (2016): Mobility data across the EU 28 member states: results from an extensive CAWI survey. Transportation Research Procedia, r. 14, s. 1104-1113.

FONTARAS, G., ZACHAROF, N., CIUFFO, B. (2017): Fuel consumption and CO2 emissions from passenger cars in Europe – Laboratory versus real-world emissions. Progress in Energy and Combustion Science, r. 2017, č. 60, s. 97-131.

FRITZ, E., KLÜHSPIES, J., KIRCHER, R., WITT, M., BLOW, L. (2018): Energy consumption of track-based high-speed trains: Maglev systems in comparison with wheel-rail systems. Transportation Systems and Technology, r. 4, č. 3, s. 134-155.

HIGHAM, J., COHEN, S. (2011): Canary in the coalmine: Norwegian attitudes towards climate change and extreme long-haul air travel to Aotearoa/New Zealand. Tourism Management, r. 32, č. 1, s. 98-105.

JARDINE, C. N. (2009): Calculating the Carbon Dioxide Emissions Of Flights. Environmental Change Institute, University of Oxford, 19 s.

JUNGBLUTH, N., MEILI, C. (2018): Recommendations for calculation of the global warming potential of aviation including the radiative forcing index. The International Journal of Life Cycle Assessment, r. 24, č. 3, s. 404-411.

LOMBORG, B. (2001): Skeptický ekolog - Jaký je skutečný stav světa? Dokořán, Liberální institut, 587 s.

MKONO, M. (2019): Eco-anxiety and the flight shaming movement: implications for tourism. Journal of Tourism Futures.

MKONO, M., HUGHES, K., ECHENTILLE, S. (2020): Hero or villain? Responses to Greta Thunberg's activism and the implications for travel and tourism. Journal of Sustainable Tourism ISSN, r. 28, č. 12, s. 1-18.

MOLDAN, B. (2015): Podmaněná planeta. Nakladatelství Karolinum, Praha, 511 s.

SHIDA, F., XIAOBO, G. (2019): Type and design of cabin units for luxury cruise ships. International Journal of Engineering and Applied Sciences, r. 6, č. 3, s. 60-63.

SKRÚCANÝ, T., KENDRA, M., KALINA, T. et al. (2018): Environmental comparison of different transport mode. Nase More, r. 6, č. 4 (special issue), s. 192-196.

SMITH, I. J., RODGER, C. J. (2009): Carbon offsets for aviation-generated emissions due to international travel to and from New Zealand. Energy Policy, r. 37, č. 9, s. 3438-3447.

SMITH, W. J. (2010): Can EV (electric vehicles) address Ireland's CO2 emissions from transport? Energy, r. 35, č. 12, s. 4514-4521.

7.2. Ostatní zdroje

ANDREWS, R.: What are your 4 pounds made of? Precision Nutrition, https://www.precisionnutrition.com/what-are-your-4-lbs (cit. 26. 4. 2021).

ARSELINA: Tourist bus/coach Setra S 431 DT two floor coach 79 passenger seats. http://www.arselina.lt/en/our-transport/tourist-bus/coach-setra-s-431-dt-two-floor-coach-79-passenger-seats-.htm (cit. 26. 4. 2021).

BBC (2019): What is flygskam? Greta speaks up about 'flight-shaming'. https://www.bbc.co.uk/newsround/49032117 (cit. 2. 11. 2020).

BEIS (2020a): 2020 Government greenhouse gas conversion factors for company reporting; Methodology Paper for Conversion factors Final Report. BEIS (Department for Business, Energy & Industrial Strategy), https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/901692/conversion-factors-2020-methodology.pdf (cit. 9. 3. 2021).

BEIS (2020b): Conversion factors 2020: condensed set (for most users). BEIS (Department for Business, Energy & Industrial Strategy), https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/891105/Conversion_Factors_2020_-_Condensed_set__for_most_users_.xlsx (cit. 23. 4. 2021).

BERDOWSKI, Z., BROEK-SERLÉ, F. N., JETTEN, J. T., KAWABATA, Y., SCHOEMAKER, J. T., VERSTEEGH, R. (2009): Survey on standard weights of passengers and baggage – final report. European Union Aviation Safety Agency, 264 s., https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Weight%20Survey%20R20090095%20Final.pdf (cit. 17. 4. 2021).

BUYCK, C. (2020): More Airlines Are Stuffing Cargo Into Passenger Seats To Counter Coronavirus Slump. Forbes, https://www.forbes.com/sites/cathybuyck/2020/03/26/airlines-spot-revenue-opportunity-and-use-their-passenger-aircraft-to-ship-urgent-cargo/ (cit. 9. 3. 2021).

BOEING (2007): 737 performance summary. https://web.archive.org/web/20140725005129/http://www.boeing.com/assets/pdf/commercial/startup/pdf/737ng_perf.pdf (archiv. verze ze 25. 7. 2014).

CLIMATE WATCH (2021): GHG Historical emission (CAIT). Climate Watch, https://www.climatewatchdata.org/data-explorer/historical-emissions (cit. 29. 4. 2021).

CMA CGM: CMA CGM La Traviata, https://www.cmacgm-group.com/en/group/at-a-glance/fleet/ships/9299795/cma-cgm-la-traviata (cit. 14. 4. 2021).

CUNARD: Transatlantic cruises. https://www.cunard.com/en-gb/cruise-destinations/transatlantic-cruises (cit. 12. 4. 2021).

ČD: Railjet. České dráhy, https://www.cd.cz/nase-vlaky/railjet/railjet/-25858/ (cit. 24. 4. 2021).

ČD (2019): Výroční zpráva skupiny České dráhy. České dráhy, a.s., http://www.ceskedrahy.cz/assets/pro-investory/financni-zpravy/vyrocni-zpravy/vyrocni-zprava_2019.pdf (cit. 23. 4. 2021).

ČESOSLOVENSKÝ DOPRAVÁK (2015): Expanze FlixBusu v ČR. https://www.cs-dopravak.cz/2015-12-9-expanze-flixbusu-v-r/ (cit. 26. 4. 2021).

ČSÚ (2011): Výsledky sčítání lidu, domů a bytů (SLDB 2011).

DPP (2019): DPP v datech. Dopravní podnik hlavního města Prahy, https://www.dpp.cz/spolecnost/o-spolecnosti/dpp-v-datech (cit. 29. 4. 2021).

DPP & ROPID (2015): Kompletní přepravní průzkum metra 2015. http://data.pid.cz/pruzkumy/2015_METRO_sbornik.pdf (cit. 22. 4. 2021).

DPP & ROPID (2016): Přepravní průzkum tramvajové sítě 2016. http://data.pid.cz/pruzkumy/2016_TRAM_sbornik.pdf (cit. 18. 4. 2021).

DPP & ROPID (2017a): Přepravní průzkum autobusové sítě 2017 – oblast sever. http://data.pid.cz/pruzkumy/2017_BUS_SEVER_MESTSKE_LINKY_sbornik.pdf (cit. 18. 4. 2021).

DPP & ROPID (2017b): Přepravní průzkum autobusové sítě 2017 – oblast severozápad. http://data.pid.cz/pruzkumy/2017_BUS_SEVEROZAPAD_MESTSKE_LINKY_sbornik.pdf (cit. 18. 4. 2021).

DPP & ROPID (2018a): Přepravní průzkum autobusové sítě 2018 – oblast jihozápad. http://data.pid.cz/pruzkumy/2018_BUS_JIHOZAPAD_MESTSKE_LINKY_sbornik.pdf (cit. 18. 4. 2021).

DPP & ROPID (2018b): Přepravní průzkum autobusové sítě 2018 – oblast jih. http://data.pid.cz/pruzkumy/2018_BUS_JIH_MESTSKE_LINKY_sbornik.pdf (cit. 18. 4. 2021)

DPP & ROPID (2019): Přepravní průzkum autobusové sítě 2019 – oblast východ. http://data.pid.cz/pruzkumy/2019_BUS19VY-SBORNIK.pdf (cit. 18. 4. 2021).

ECOINVENT (2020): EcoInvent Database version 3.7.1., https://www.ecoinvent.org/home.html (cit. 29. 4. 2021)

EEA (2012): Long distance bus occupancy rates. European Environment Agency, https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/long-distance-bus-occupancy-rates (cit. 25. 4. 2021).

EEA (2020): Greenhouse gas emission intensity of electricity generation. European Environment Agency, https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/co2-emission-intensity-6#tab-googlechartid_googlechartid_googlechartid_googlechartid_chart_11111 (cit. 11. 4. 2021).

EUROCONTROL (2020): Small emitters tool. https://www.eurocontrol.int/tool/small-emitters-tool (cit. 26. 4. 2021).

EUROSTAT (2019): Is your country popular with tourists? https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/WDN-20190702-1?inheritRedirect=true (cit. 6. 2. 2021).

EUROSTAT (2020a): Number of trips by mode of transport. https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=tour_dem_tttr&lang=en (cit. 6. 2. 2021).

EUROSTAT (2020b): Number of trips by country / world region of destination. https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=tour_dem_ttw&lang=en (cit. 7. 2. 2021).

EV DATABASE: Skoda CITIGOe iV. Electric Vehicle Database, https://ev-database.org/car/1190/Skoda-CITIGOe-iV (cit. 27. 4. 2021).

FHWA (2018): Average Vehicle Occupancy Factors for Computing Travel Time Reliability Measures and Total Peak Hour Excessive Delay Metrics. US Department of Transportation – Federal Highway Administration, https://www.fhwa.dot.gov/tpm/guidance/avo_factors.pdf (cit. 24. 4. 2021).

IMO (2009): Prevention of air pollution from ships - Second IMO GHG study 2009. International Maritime Organization, 287 s., https://www.transportenvironment.org/docs/mepc59_ghg_study.pdf (cit. 13. 4. 2021).

IPCC (2018): Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty (Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)). In Press.

JONES, S. (2017): Coach Euro Test – Linkoping 2017 – Irizar i8 Integral. Bus & Coach Buyer, https://www.busandcoachbuyer.com/coach-euro-test-linkoping-2017-irizar-i8-integral/ (cit. 25. 4. 2021).

KOPTYUG, E. (2021): Capacity utilisation of long-distance trains of the Deutsche Bahn AG in Germany from 2006 to 2020. Statista, https://www.statista.com/statistics/654973/long-distance-trains-deutsche-bahn-capacity-utilisation-germany/ (cit. 29. 4. 2021).

MAPY.CZ: Mapy.cz https://mapy.cz/ (cit. 30. 4. 2021).

MAZAREANU, E. (2020): Freight-ton kilometers share of air cargo traffic worldwide in 2019 and 2039, by type. Statista, https://www.statista.com/statistics/535543/worldwide-freight-ton-kilometer-share-belly-cargo-and-main-cargo/ (cit. 9. 3. 2021).

OPENSTREETMAP: Topographic OSM WMS, https://www.terrestris.de/en/openstreetmap-wms/ (cit. 2. 5. 2021).

REGIOJET (2021): Regiojet. https://www.regiojet.cz/ (cit. 29. 4. 2021).

RITCHIE, H. (2020): Cars, planes, trains: where do CO2 emissions from transport come from? Our World in Data, https://ourworldindata.org/co2-emissions-from-transport (cit. 29. 4. 2021).

ROME2RIO: Rome2Rio, https://www.rome2rio.com/ (cit. 2. 5. 2021).

ROPID (2020): Roční statistika PID. https://opendata.praha.eu/dataset/ropid-rocni-statistika-pid (cit. 19. 3. 2021).

SEARATES: Shipping Distances & Time Calculator. https://www.searates.com/services/distances-time/ (cit. 30. 4. 2021).

SEAT 61: Cunard's Queen Mary 2. The Man in Seat 61, https://www.seat61.com/queen-mary-2-transatlantic.htm (cit. 14. 4. 2021).

SEVEN ENERGY (2013a): Územní energetická koncepce hlavního města Prahy (2013-2033): příloha č. 4 vybrané zdroje a sektory spotřeby. http://envis.praha-mesto.cz/UEK_2013/data/pdf/AUEKhlmPhy-2013-Priloha4.pdf (cit. 11. 4. 2021).

SIEMENS (2014): Viaggio Comfort – Intercity push/pull train for ČD. Siemens AG, Mobility Division, https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:80c0afe44b94cff793f56829bc4e67770aa3225b/viaggio-comfort-cdrailjet-english1.pdf (cit. 18. 4. 2021).

SLOWTRAVEL: Freighter Travel. https://www.langsamreisen.de/en/freightertravel/ (cit. 30. 1. 2021).

STATISTA (2018a): Average occupancy rate of trains on the National Rail Network in France between 2015 and 2016, by type of train. https://www.statista.com/statistics/1130020/occupation-rate-of-trains-by-type-in-france/ (cit. 26. 4. 2021).

STATISTA (2018b): Average coach occupancy rate in France in 2015 and 2017. https://www.statista.com/statistics/1131045/rate-occupation-coach-france/ (cit. 26. 4. 2021).

STEPAN, M: You Need This Much Water on a Boat (Per Person Per Day). Improve Sailing, https://improvesailing.com/questions/you-need-this-much-water-on-a-boat-per-person-per-day (cit. 26. 4. 2021).

SŮRA, J. (2019): Třetí linka z Prahy do USA. Na Ruzyni začaly létat United Airlines. Zdopravy.cz, https://zdopravy.cz/treti-linka-z-prahy-do-usa-na-ruzyn-zacaly-letat-united-airlines-29543/ (cit. 25. 4. 2021).

SVĚT MOTORŮ (2020): Elektromobilita v Česku 2020: Elektrika zrychluje! Opravdu je už tady? Auto.cz, https://www.auto.cz/elektromobilita-v-cesku-2020-elektrika-zrychluje-opravdu-je-uz-tady-136918 (cit. 27. 4. 2021).

ŠINDELÁŘ, J. (2020): Vídeň objevuje rekuperaci elektřiny v metru, Praha jí využívá deset let. Zdopravy.cz, https://zdopravy.cz/viden-objevuje-rekuperaci-elektriny-v-metru-praha-ji-vyuziva-deset-let-51446/ (cit. 22. 4. 2021).

ŠKODA AUTO (2009): Škoda Fabia – Návod k obsluze. https://ws.skoda-auto.com/OwnersManualService/Data/cz/Fabia_54/05-2009/Manual/Fabia/A05_Fabia_OwnersManual.pdf (cit. 24. 4. 2021).

THE GUARDIAN (2006): Is cruising any greener than flying? https://www.theguardian.com/travel/2006/dec/20/cruises.green (cit. 12. 4. 2021).

TIETGE, U., DÍAZ., S., MOCK, P., BANDIVADEKAR, A., DORNOFF, J., LIGTERINK, N. (2019): From Laboratory to Road – A 2018 update of official and "real-world" fuel consumption and CO_2 values for passenger cars in Europe. The International Council on Clean Transportation, https://theicct.org/publications/laboratory-road-2018-update (cit. 21. 4. 2021).

TSK PRAHA (2020): Ročenka dopravy Praha 2019. Technická správa komunikací hlavního města Prahy, a. s., Úsek dopravního inženýrství, http://www.tsk-praha.cz/static/udi-rocenka-2019-cz.pdf (cit. 22. 4. 2021).

VAN DER WERFF, E. (2019): Flygskam: To Fly or not to Fly? Studium Generale. https://youtu.be/gPSGfK0EgJg (cit. 2. 11. 2020).

VOYAGES EN CARGO: Liberty Bridge – USA, UK, Netherlands. https://voyagesencargo.com/lines/liberty-bridge-usa-uk-netherlands (cit. 14. 4. 2021).

WIKIPEDIA (2021a): Fuel economy in aircraft. Wikipedia, the Free Encyclopedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_economy_in_aircraft (cit. 8. 3. 2021).

WIKIPEDIA (2021b): Ocean liner. Wikipedia, the Free Encyclopedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Ocean_liner (cit. 13. 4. 2021).

WIKIPEDIA (2021c): Twenty-foot equivalent unit. Wikipedia, the Free Encyclopedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Twenty-foot_equivalent_unit (cit. 14. 4. 2021).

WIKIPEDIE (2021a): SOR NB 12. Wikipedie, Otevřená encyklopedie, https://cs.wikipedia.org/wiki/SOR_NB_12 (cit. 23. 4. 2021).

WIKIPEDIE (2021b): Elektrická jednotka 471. Wikipedie, Otevřená encyklopedie, https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrick%C3%A1_jednotka_471 (cit. 23. 4. 2021).