



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

LETECKÝ ÚSTAV

INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

DOPAD LETECTVÍ NA GLOBÁLNÍ OTEPLOVÁNÍ

AVIATION IMPACT ON GLOBAL WARMING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Adam Štarha

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Pavel Zikmund, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

| | |
|-------------------|----------------------------------|
| Ústav: | Letecký ústav |
| Student: | Adam Štarha |
| Studijní program: | Strojírenství |
| Studijní obor: | Základy strojního inženýrství |
| Vedoucí práce: | Ing. Pavel Zikmund, Ph.D. |
| Akademický rok: | 2020/21 |

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Dopad letectví na globální oteplování

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Letectví produkuje stejně jako ostatní odvětví průmyslu a dopravy skleníkové plyny. Určení emisí a srovnání s jinými druhy dopravy není triviální, kvůli velkému vlivu ovlivňujících faktorů. Proto existuje mnoho studií s velmi odlišnými závěry a lidé mají často velmi zkreslené představy o dopadu letectví na globální oteplování. Doprava bývá zároveň dotována, což velmi ovlivňuje konkurenceschopnost jednotlivých druhů dopravy mezi sebou.

Cíle bakalářské práce:

- Rešerše studií o dopadu letectví a jiných druhů dopravy na produkci skleníkových plynů
- Srovnání emisí jednotlivých druhů dopravy mezi sebou
- Srovnání zvýhodňování jednotlivých druhů dopravy pomocí dotací a daňových úlev v EU

Seznam doporučené literatury:

European Aviation Environmental Report; EASA: Cologne, Germany, 2019, doi: 10.2822/309946.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jaroslav Juračka, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou neustále rostoucích emisí letecké dopravy. Je zde popsáno, kde se skleníkové plyny objevují a co jejich nadměrné množství způsobuje. Dále se tato práce věnuje srovnání emisí jednotlivých druhů dopravy a srovnání zvýhodňování jednotlivých druhů dopravy, zejména letecké dopravy, pomocí dotací a daňových úlev v EU.

Klíčová slova

emise, doprava, letectví, globální oteplování

Abstract

This bachelor's thesis deals with the issue of ever-increasing aviation emissions. It describes where greenhouse gases appear and what their excessive amount causes. Furthermore, this work deals with the comparison of emissions of individual modes of transport and the comparison of the benefits of individual modes of transport, especially air transport, through subsidies and tax relief in the EU.

Keywords

emissions, transport, aviation, global warming

Bibliografická citace

ŠTARHA, Adam. *Dopad letectví na globální oteplování* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/131685>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Letecký ústav. Vedoucí práce Pavel Zikmund.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Dopad letectví na globální oteplování** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedený na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

20.5.2021

Datum

Adam Štarha

Poděkování

Děkuji panu Ing. Pavlu Zikmundovi, Ph. D. za cenné rady a připomínky při tvorbě této bakalářské práce. Dále děkuji rodině za podporu nejen při psaní práce, ale i za podporu během celého studia.

Obsah

| | |
|---|----|
| Úvod..... | 13 |
| 1 Globální oteplování..... | 14 |
| 1.1 Skleníkové plyny..... | 16 |
| 1.1.1 Vodní pára..... | 17 |
| 1.1.2 Oxid uhličitý CO ₂ | 17 |
| 1.1.3 Metan CH ₄ | 18 |
| 1.1.4 Oxid dusný N ₂ O..... | 18 |
| 1.1.5 Ozon O ₃ | 18 |
| 1.1.6 Freony CFC..... | 18 |
| 1.2 Přírodní zdroje skleníkových plynů..... | 18 |
| 1.3 Vliv člověka..... | 19 |
| 2 Dopravní sektor..... | 24 |
| 2.1 Silniční doprava..... | 24 |
| 2.2 Železniční doprava..... | 26 |
| 2.3 Lodní doprava..... | 28 |
| 3 Letecká doprava..... | 29 |
| 4 Vliv dopravy na globální oteplování..... | 34 |
| 5 Ekonomie letecké dopravy..... | 36 |
| 5.1 Podpora letectví v EU..... | 36 |
| 5.2 Finanční výhodnost..... | 36 |
| 6 Snižování emisí v letecké dopravě..... | 39 |
| Závěr..... | 42 |
| Seznam použitých zdrojů..... | 44 |
| Použité zkratky a symboly..... | 49 |
| Přílohy..... | 50 |

Úvod

Globální oteplování je velký celosvětový problém, který nepřímo ohrožuje miliony lidí a nespočetné množství organismů na této planetě. Tento problém je způsoben neustále rostoucími antropogenními emisemi skleníkových plynů, které nevznikají jen vlivem člověka, ale i přirozenou cestou. Problémem je však jejich nadměrné množství, se kterým se naše planeta nedokáže sama vypořádat.

Tato práce uvádí přehled emisí vzniklých přirozeným způsobem i vlivem člověka. Blíže se zaměřuje na emise vzniklé v dopravním sektoru, zejména pak na emise z letecké dopravy. Emise jednotlivých druhů dopravy jsou zde popsány a kvantifikovány, poté porovnány mezi sebou navzájem, tak i vůči celkovému množství antropogenních emisí a přirozeným emisím.

Dále se zabývá financemi v oblasti letecké dopravy. Dotace a daňové úlevy, kterými Evropská unie podporuje letectví, snižují ceny letenek, a tak zvyšují uměle poptávku po letecké dopravě. Tímto způsobem urychlují rozvoj letecké průmyslu i růst intenzity letecké dopravy. Cenové srovnání mezi leteckou a železniční dopravou bylo doplněno o srovnání železniční a autobusové dopravy.

Ke konci této práce jsou představeny dokumenty a programy na snižování emisí skleníkových plynů v letecké dopravě. Blíže je pak přestaven technologický vývoj leteckých motorů a koncept bezemisních letadel výrobce Airbus.

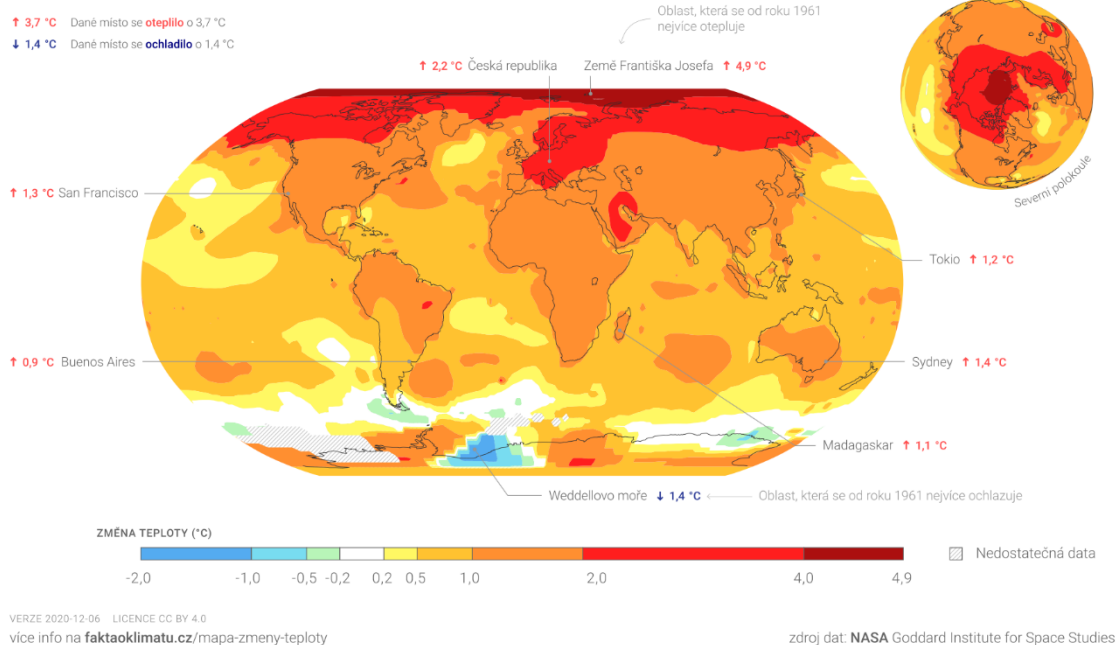
1 Globální oteplování

Globální oteplování je proces dlouhodobého zvyšování teploty klimatického systému Země, je pozorováno nejen v přístrojovém měření teploty, ale i mezi dalšími projevy oteplování [1]. Pojem „globální oteplování“ je nejčastěji používán pro zvyšování průměrné teploty vzduchu a povrchu [2]. Odborníci však uvádějí deset indikátorů oteplování planety Země. Je to zvyšování teploty vzduchu nad pevninou i oceány, tání ledovců v polárních oblastech, tání horských ledovců, vzestup hladiny moří, nárůst vzdušné vlhkosti, nárůst akumulovaného tepla v oceánech, vzestup teploty povrchových vod oceánů, úbytek sněhu a nárůst teploty v troposféře [3].

Obr. 2.1 ukazuje na mapě světa nárůst či pokles teploty mezi lety 1961 a 2019. Z obrázku je patrné, že většina pevniny se od roku 1961 oteplila o jeden až dva stupně Celsia. Střední a východní Evropa se ve stejném období oteplila v rozmezí dvou až čtyř stupňů Celsia. Nejhorší situace je v oblasti severního pólu, kde na ostrově Země Františka Josefa byla zaznamenána nejvyšší změna průměrné roční teploty o 4,9 °C [4]. Proudění vzduchu zanáší částice oxidu uhličitého (dále CO₂) z průmyslových oblastí na severní polokouli do polární oblasti. CO₂ se zde nejvíce koncentruje, a to vede ke zmíněnému oteplení [5].

MAPA ZMĚNY TEPLoty MEZI LETY 1961–2019

Změna klimatu probíhá různě na různých místech planety. Například **kontinenty se oteplují přibližně dvakrát rychleji než oceány**.

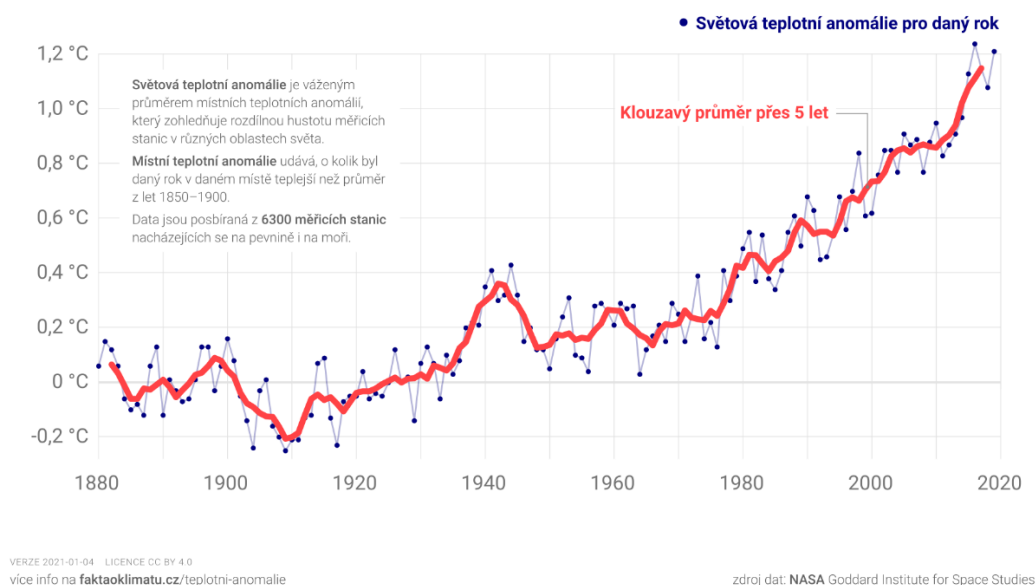


Obr. 1.1 Mapa světa ukazující změnu průměrné roční teploty [4].

Z grafu světové teplotní anomálie na obr. 2.2 je patrné, že planeta Země se od preindustriálního období, tedy v letech 1850-1900, průměrně oteplila o 1,2 °C. Avšak většina míst severní polokoule je teplejší o 2-3 °C [6].

VÝVOJ SVĚTOVÉ TEPLOTNÍ ANOMÁLIE

Svět je nyní o 1,2 °C teplejší než v letech 1850–1900.

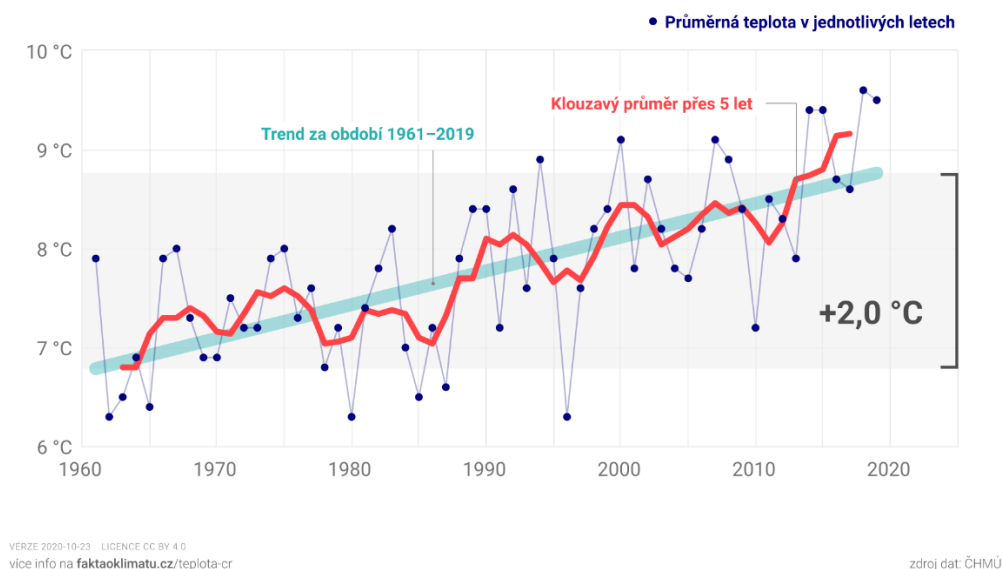


Obr. 1.2 Graf vývoje světové teplotní anomálie [6].

Graf na obr. 2.3 zobrazuje vývoj průměrné roční teploty, klouzavý průměr přes 5 let průměrné teploty i teplotní trend v České republice v období let 1961–2019. Z grafu je patrné, že průměrná roční teplota přes výkyvy v různých letech rostla a oproti roku 1961 se zvýšila o 2 °C [7].

PRŮMĚRNÁ ROČNÍ TEPLOTA V ČR

Teplota se od roku 1961 zvýšila o 2,0 °C.



Obr. 1.3 Graf průměrné roční teploty v ČR [7].

Termín je také používán pro oteplování způsobené především činností člověka od doby průmyslové revoluce na konci 19. století spojené s ekonomickým růstem a růstem lidské populace [8]. Největší antropogenní vliv je způsoben emisemi skleníkových plynů jako je oxid uhličitý, methan, oxidy dusíku, či vodní pára [5; 8].

1.1 Skleníkové plyny

Mnoho chemických sloučenin v zemské atmosféře se chová jako skleníkové plyny. Tyto plyny absorbují infračervené záření vyzářené z povrchu a zabraňují tak části tepla, aby uniklo do vesmíru. Zároveň tímto způsobem vytváří skleníkový efekt, který vede ke globálnímu oteplování [9]. V ideálním množství jsou skleníkové plyny prospěšné. Podle vědců by bez nich a skleníkového efektu průměrná teplota Země klesla ze 14 °C na -18 °C [10].

Skleníkový efekt



Obr. 1.4 Skleníkový efekt [9].

Aby bylo možné objektivně hodnotit, který ze skleníkových plynů nejvíce přispívá ke skleníkovému jevu, byl zaveden tzv. ekvivalent CO_2 (značeno CO_2eq), který udává, jaké množství oxidu uhličitého způsobí stejnou úroveň radiačního záření jako daný typ a koncentrace jiného skleníkového plynu [11].

Mezi nejvýznamnější skleníkové plyny se řadí vodní pára, oxid uhličitý (CO_2), methan (CH_4), oxid dusný (N_2O), ozon (O_3) a freony [10; 12].

1.1.1 Vodní pára

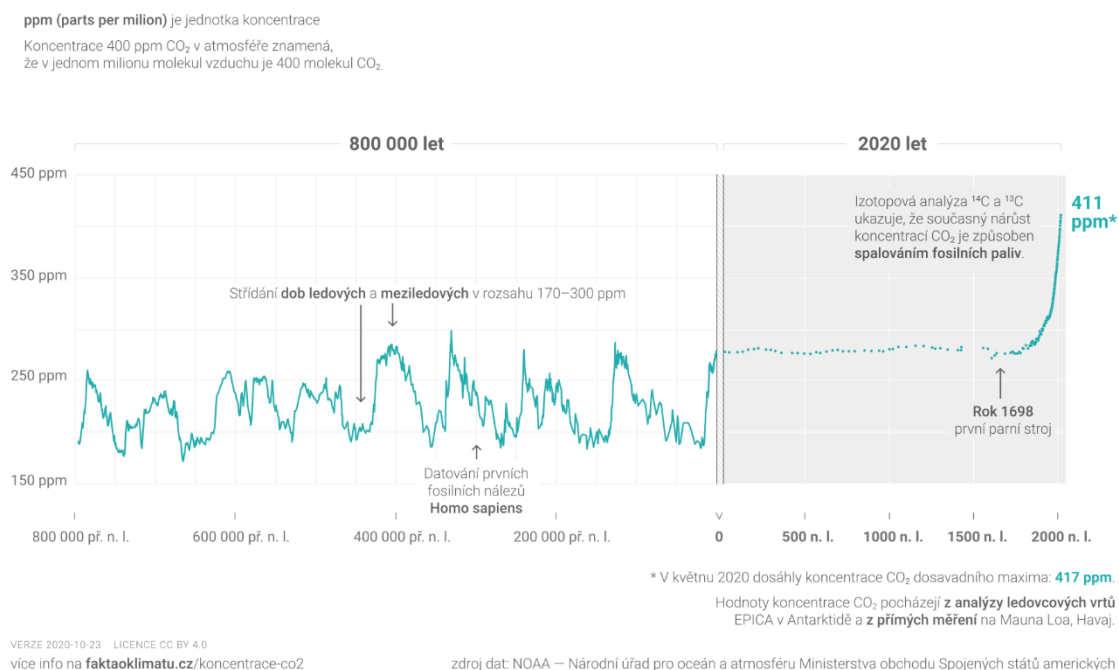
Vodní pára je nejhojněji zastoupený skleníkový plyn v atmosféře [12]. Vzniká vypařováním z vodních ploch, půdy a vypařováním z živých organismů. Objem vodních par v atmosféře se mění v závislosti na čase, místě a atmosférických podmínkách (tlak, vlhkost). Největší podíl na nárůstu vlhkosti atmosféry má oxid uhličitý. O vodní páře se hovoří jako o nejdůležitějším skleníkovém plynu, tak se jedná především o její pozitivní zpětné vazbě, kvůli níž je klima závislé na CO₂ [13]. Avšak většina vědců se domnívá, že vodní pára vyprodukovaná činností člověka přispívá velmi malým dílem k množství vodní páry již obsažené v atmosféře [9].

1.1.2 Oxid uhličitý CO₂

Oxid uhličitý je bezbarvý plyn bez chuti a zápachu. Je tvořen dvěma atomy kyslíku a jedním atomem uhlíku a jedná se o velmi stabilní látku. Je přibližně 1,5krát těžší než vzduch, má tedy tendenci držet se při zemi. V atmosféře je zastoupen 0,04 %. Přírodními zdroji oxidu uhličitého jsou rozkládající se flora a fauna, sopečná činnost, oxidace oxidu uhelnatého (CO) [13] a dýchání rostlin a živočichů [10]. Zdrojem antropogenní činnosti jsou především spalovací procesy v průmyslu využívající fosilních paliv a v dopravě [13].

VÝVOJ KONCENTRACE CO₂ V ATMOSFÉŘE

Dnešní koncentrace CO₂ dosahují hodnot, které na Zemi nebyly za celou dobu existence lidstva.



Obr. 1.5 Graf vývoje koncentrace CO₂ v atmosféře [14].

Graf na obr. 2.5 ukazuje, že od dob průmyslové revoluce, tedy přibližně od roku 1750, koncentrace CO₂ rychle roste a dosahuje hodnot vyšších než za posledních 800 000 let. Průměrná rychlost růstu koncentrace se také zvyšuje. V letech 2000 – 2019 koncentrace rostla tempem 21,7 ppm za dekádu, to je desetkrát více než v letech 1750 – 1949, kdy tempo růstu

koncentrace bylo 2,1 ppm za dekádu. V květnu 2020 dosáhla koncentrace CO₂ dosud nejvyšší hodnoty 417 ppm na vrcholu sopky Mauna Loa na Havajských ostrovech [14].

1.1.3 Metan CH₄

Metan, též známý jako bahenní plyn, je nejjednodušší uhlovodík. Kromě plynného skupenství se může vyskytovat v kapalném podobě. Nejdůležitější vlastnosti metanu jsou výbušnost a absorpce infračerveného záření. Metan přirozeně vzniká tepelným rozkladem organismů, metabolickou činností mikroorganismů nebo syntézou anorganických sloučenin [13].

Vlivem člověka je metan vypouštěn do atmosféry při produkci a přepravě uhlí, zemního plynu a ropy [15]. Dalším antropogenními zdroji jsou chov hospodářských zvířat, pěstování rýže, spalování biomasy a výroba acetyleny, vodíku a kyanidu [13].

1.1.4 Oxid dusný N₂O

Oxid dusný je bezbarvý nehořlavý plyn. Laicky je nazýván „rajský plyn“, pro své analgetické a anestetické účinky. Oxid dusný vzniká přirozenou cestou sopečnou aktivitou, požáry, uvolňování z oceánů a pralesů. Zdrojem N₂O jsou mikroorganismy ve vodě i hlíně, které vytvářejí humus [13].

Přibližně 40 % emisí N₂O pochází z lidské činnosti. Největší podíl N₂O je vypouštěn v zemědělství při aplikaci syntetických a organických hnojiv. Dalším zdrojem je spalování paliv. Emitované množství závisí na druhu spalovaného paliva, spalovací technologii, údržbě spalovacího zařízení a provozních postupech [15].

1.1.5 Ozon O₃

Ozon je ve své podstatě skleníkový plyn. Je však užitečný i škodlivý v závislosti na tom, kde v atmosféře se nachází. Přirozeně se nachází ve stratosféře, kde zabraňuje ultrafialovému (UV) záření, které je škodlivé pro rostliny i živočichy, pronikat na zemský povrch. V troposféře je ozon škodlivý pro lidské zdraví. Ochranné schopnosti stratosférického ozonu převažují nad jeho příspěvkem ke skleníkovému efektu [9].

1.1.6 Freony CFC

Fluorochlorouhlovodíky jsou organické sloučeniny obsahující chlór, fluor a uhlík. Svůj název získaly od stejnojmenného obchodního názvu společnosti DuPont, dnes však tuto skupinu označujeme jako tzv. tvrdé freony. V přírodě se přirozeně nevyskytují, ale kvůli svým vhodným chemickým vlastnostem se bohužel staly její nedílnou součástí. V atmosféře působí jako skleníkové plyny a díky chlóru rozkládají atmosférický ozon, což vede k tvorbě ozonových děr. Jejich původ je antropogenní, využívaly se jako chladicí média, hnací plyny v aerosolových sprejích, čisticí prostředky a rozpouštědla [16].

1.2 Přirozené zdroje skleníkových plynů

Ačkoli pojem globální oteplování je spojen s produkcí skleníkových plynů vlivem činnosti člověka, rozhodl jsem se do této práce zařadit kapitolu zabývající se přirozenými zdroji skleníkových plynů.

Prvním z šesti přirozených zdrojů skleníkových plynů jsou lesní požáry, jejichž nejčastější příčinou je úder blesku za velkého sucha a horka. Přibližně 90 % emisí je to tvořeno oxidem uhličitým. Z několika publikovaných zpráv zabývajících se emisemi z lesních požárů vyplývá, že roční emise se pohybují v rozmezí 7 – 16 Gt CO₂eq s nejpravděpodobnější hodnotou 11 Gt CO₂eq [17].

Druhým zdrojem a velkou zásobárnou uhlíku jsou oceány. Obsah uhlíku v oceánech je 50krát větší než v atmosféře a 20krát větší než v biosféře. Jelikož oceány současně uvolňují a pohlcují skleníkové plyny, zejména oxid uhličitý, mají extrémně významnou roli při regulaci koncentrací skleníkových plynů v atmosféře. Každý rok přibližně uvolňují 6,12 Gt CO₂eq a množství pohlceného oxidu uhličitého se ročně pohybuje v rozmezí 9,3 a 12,6 Gt [17].

Mokřady jsou hlavním přirozeným zdrojem metanu. V letech 2000–2009 množství emitovaného metanu se odhaduje na 177 až 284 Mt každý rok, to odpovídá 4,4 až 7,1 Gt oxidu uhličitého ročně. Celkové množství emitovaných skleníkových plynů z mokřadů je přibližně 2,4 – 7,5 Gt CO₂eq [17].

Dalším přirozeným zdrojem skleníkových plynů je trvale zmrzlá země neboli permafrost. Skleníkové plyny uvolněné z permafrostu jsou oxid uhličitý, metan a oxid dusný. Každý rok do atmosféry unikne 30 – 40 Mt metanu (0,75 – 1 Gt CO₂eq), ale do roku 2080 se předpokládá nárůst na 71 – 74 Mt (1,77 – 1,85 Gt CO₂eq). Celkové množství emitovaných skleníkových plynů se pohybuje v rozmezí 2,3 až 7,8 Gt CO₂eq [17].

Při sopečných erupcích se do atmosféry uvolňuje obrovské množství vulkanických plynů, včetně metanu a oxidu uhličitého, v relativně krátkém čase, například erupce sopky Pinatubo na Filipínách v červnu 1991 uvolnila 20 Mt oxidu siřičitého a 200 Mt oxidu uhličitého a vytvořila největší vulkanický oblak za celé dvacáté století. Průměrné množství celkových emisí ze sopečné činnosti je 200 Mt CO₂eq za rok [17].

Bahenní sopky jsou producenti velkého množství uhlovodíkových plynů, které z 95 % tvoří metan. Je odhadováno, že 60 – 80 % celkového emitovaného množství plynů pochází z erupcí, zbylých 20 – 40 % v době klidu. Celkové množství emitovaných plynů je přibližně 750 Mt CO₂eq ročně [17].

1.3 Vliv člověka

Každý rok je vlivem člověka do atmosféry vypuštěno okolo 50 miliard tun skleníkových plynů (měřeno v CO₂eq) a toto množství neustále roste. Z grafu na obr. 1.6 je patrné, že v roce 2016 celkové množství emitovaných skleníkových plynů bylo 49,4 Gt CO₂eq [18].

73,2 % emisí je vyprodukováno v sektoru, kde se mění jeden druh energie na jiný. Tento sektor můžeme rozdělit do několika dalších skupin [18].

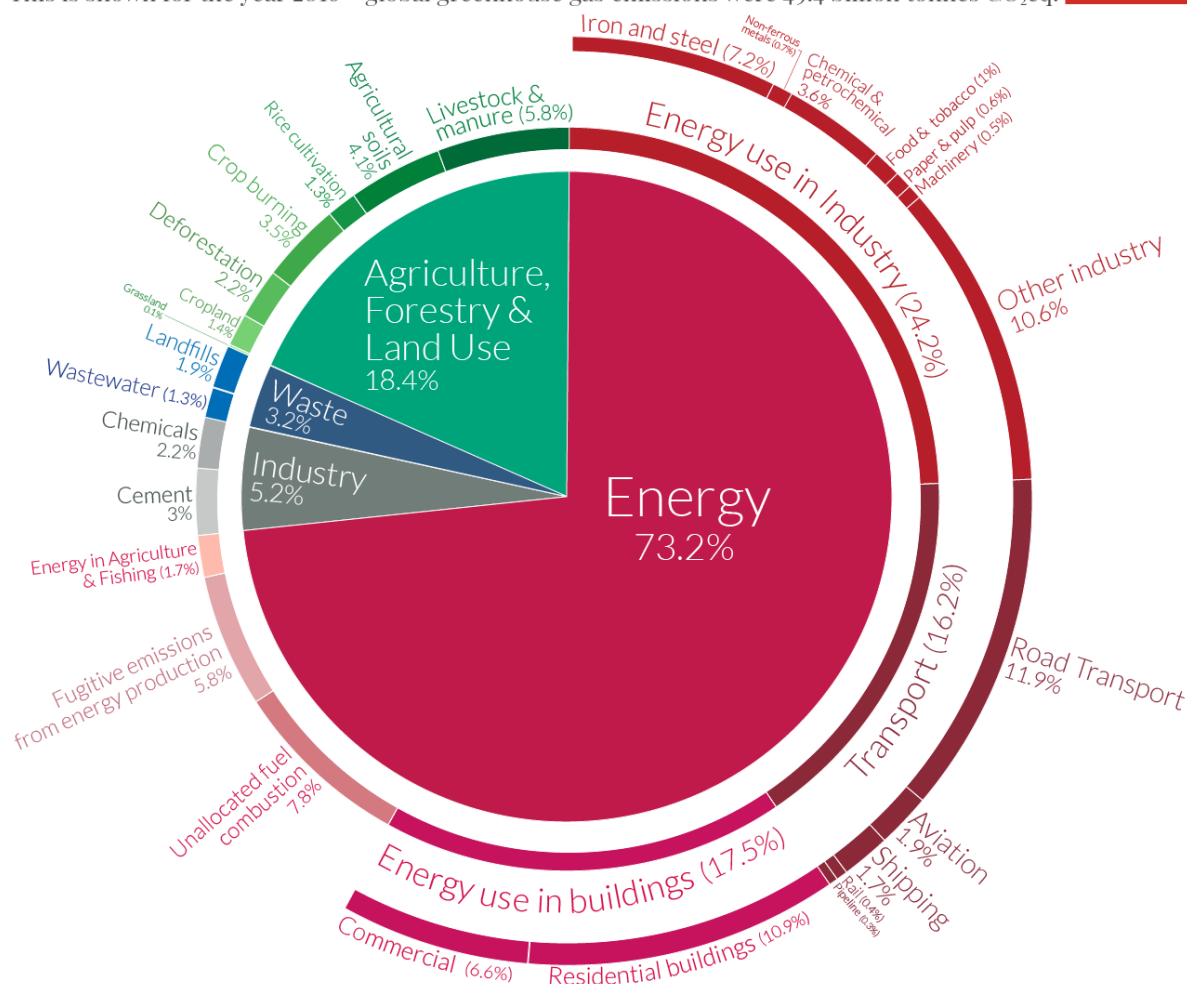
První skupinou jsou emise spojené s energií využívanou v průmyslu. Při výrobě železa a oceli se každý rok vypustí 3,56 Gt CO₂eq (7,2 %); výroba hnojiv, farmaceutik, chladičů, těžbě ropy a zemního plynu v chemickém a petrochemickém průmyslu 1,78 Gt CO₂eq (3,6 %); výroba tabákových výrobků a potravin ze surových produktů zemědělství 494 Mt CO₂eq (1 %). Výrobou neželezných kovů zahrnující hliník, měď, olovo, nikl, cín, titan, zinek a slitiny neželezných kovů je každoročně emitováno 354,8 Mt CO₂eq (0,7 %); výrobou papíru a

buničiny ze dřeva pak 296,4 Mt CO₂eq (0,6 %) a výrobou strojů je uvolněno 247 Mt CO₂eq (0,5 %). Emise související s energií využitou při výrobě v těžebním průmyslu, stavebnictví, textilním průmyslu, dřevozpracujícím průmyslu, automobilním průmyslu a dalších činí 5,24 Gt CO₂eq (10,6 %). Emise z této skupiny činí 11,95 Gt CO₂eq každý rok, to odpovídá 24,2 % celkových světových emisí [18].

Global greenhouse gas emissions by sector

Our World
in Data

This is shown for the year 2016 – global greenhouse gas emissions were 49.4 billion tonnes CO₂eq.



OurWorldinData.org – Research and data to make progress against the world's largest problems.

Source: Climate Watch, the World Resources Institute (2020).

Licensed under CC-BY by the author Hannah Ritchie (2020).

Obr. 1.6 Světové emise skleníkových plynů podle sektoru [18].

Druhou skupinou jsou emise spojené s dopravou osob a zboží. Tato skupina zahrnuje emise při výrobě elektrické energie nutné pro pohon vozidel – nepřímé emise – a přímé emise způsobené spalováním fosilních paliv. Nezahrnuje však emise z výroby dopravních prostředků, ty jsou zahrnuty v předchozí skupině. Při spalování benzínu a nafty v silniční dopravě je každoročně uvolněno 5,88 Gt CO₂eq (11,9 %), to je nejvíce z celého dopravního sektoru. 938,6 Mt CO₂eq emisí je emitováno v letecké dopravě a 839,8 Mt CO₂eq v lodní dopravě, to činí 1,9 %, respektive 1,7 % světových ročních emisí. V železniční dopravě se každý rok uvolní 197,6 Mt CO₂eq (0,4 %) a v potrubní dopravě 148,2 Mt CO₂eq (0,3 %). Celkové množství emitovaných plynů v dopravním sektoru činí 8 Gt CO₂eq. Toto množství odpovídá 16,2 % světových emisí [18].

Do třetí skupiny se řadí emise spojené s využitím energií v budovách. Každý rok je při výrobě elektrické energie pro osvětlení, elektrická zařízení, vaření atd. a při vytápění v rezidenčních budovách emitováno 5,38 Gt CO₂eq emitováno (10,9 %) a v komerčních budovách 3,26 Gt CO₂eq (6,6 %). Celkově je takto uvolněno 8,64 Gt CO₂eq (17,5 %) skleníkových plynů [18].

Spalováním nezařazeného paliva se uvolní 3,85 Gt CO₂eq (7,8 %) skleníkových plynů, což zahrnuje emise z produkce elektrické energie a tepla z biomasy, emise z místních zdrojů tepla, jaderný průmysl a další [18].

Do páté skupině se řadí fugitivní emise při získávání fosilních paliv, jejichž celkové roční množství je 2,87 Gt CO₂eq (5,8 %). Neúmyslným únikem metanu z poškozených nebo špatně udržovaných ropovodů a plynovodů a úmyslné spalování zemního plynu v ropných zařízeních je emitováno 1,93 Gt CO₂eq (3,9 %). Při těžbě uhlí je pak uvolněno 938 Mt CO₂eq (1,9 %) skleníkových plynů [18].

Při pohonu zemědělské techniky a rybářských lodí je každý rok emitováno 839,8 Mt CO₂eq skleníkových plynů. Toto množství odpovídá 1,7 % celkových světových emisí [18].

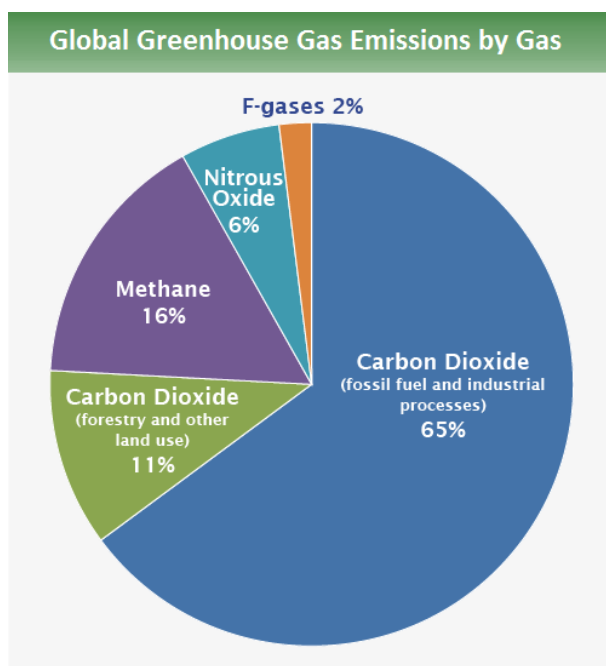
Z přímých industriálních procesů je celosvětově emitováno 2,57 Gt CO₂eq (5,2 %) skleníkových plynů. Přímým industriálním procesem je například myšlena výroba vápna ve vápenickém průmyslu, kde při výrobě vápna z vápence vzniká oxid uhličitý jako druhotný produkt. Ve vápenickém průmyslu je vypuštěno každý rok 1,48 Gt CO₂eq (3 %) plynů. Také v chemickém a petrochemickém průmyslu mohou být skleníkové plyny vytvořeny jako druhotné produkty, jejichž roční množství je odhadováno na 1,09 Gt CO₂eq (2,2 %). Například oxid uhličitý vzniká při výrobě amoniaku, který se používá k čištění vody a čistících prostředků; jako chladiivo a při výrobě plastů, hnojiv, pesticidů a textilu [18].

Zpracováváním odpadů je ročně uvolněno 1,58 Gt CO₂eq (3,2 %) skleníkových plynů. Patří sem emise z odpadních vod, ze kterých při rozpadu organické hmoty, zbytků z rostlin, živočichů, lidí a jejich odpadních produktů se uvolňují metan a oxid dusný. Dalšími zdroji jsou skládky odpadu, ze kterých uniká metan vznikající při rozkladu organické hmoty v prostředí s malou koncentrací kyslíku [18].

Každý rok 9,09 Gt CO₂eq (18,4 %) skleníkových plynů pochází ze zemědělství, lesnictví a využití půdy. 49,4 Mt CO₂eq, což odpovídá 0,1 % emisí, pochází z luk a pastvin, kde se uvolňuje CO₂ při degradaci rostlinstva. I správa orné půdy ovlivňuje množství emitovaných skleníkových plynů. Při degradaci zemědělské půdy se oxid uhličitý uvolňuje do atmosféry, při obnově jej rostliny váží do sebe; po sečtení to odpovídá 691,6 Mt CO₂eq (1,4 %) emitovaných každý rok. Ke globálním emisím přispívá také odlesňování. Celkové emise deforestace závisí na velikosti zalesněných ploch, proto deforestace je započítávána jako kladné emise, zalesňování jako negativní emise. Při odlesňování je každý rok uvolněno 1,09 Gt CO₂eq skleníkových plynů. Spalováním zemědělských zbytků, zejména natí rýže, pšenice, cukrové třtiny a dalších plodin se do ovzduší uvolňuje oxid uhličitý, oxid dusný a metan. Tyto emise dohromady tvoří 3,5 % světových emisí, což odpovídá 1,73 Gt CO₂eq. Při pěstování rýže se každý rok uvolní 642,2 Mt CO₂eq. V rýžových polích při procesu zvaném anaerobní zažívání se v prostředí s nízkým obsahem kyslíku mění organická hmota z půdy na metan, toto množství skleníkových plynů se na celkovém množství emisí podílelo z 1,3 %. To vypadá jako mnoho, ale je důležité tuto informaci zařadit do kontextu. Rýže představuje světově zhruba jednu pětinu dodávaných kalorií a je základní plodinou pro miliardy lidí na celém světě. Při obhospodařování zemědělské půdy se často používají umělá hnojiva, při aplikaci zvláště dusíkatých hnojiv se do

ovzduší uvolňuje oxid dusný. Celkově je tak během obhospodařování emitováno 2,03 Gt CO₂eq (4,1 %). Největším dílem z tohoto sektoru k emisím přispívá chov zvířat. Zejména přežvýkavci produkují velké množství metanu, který vzniká při rozkladu potravy v jejich trávicím traktu. Dále oxid dusný a metan vzniká v kravinech, vepřinech a drůbežárnách, kde se skladuje velké množství hnoje na hromadách a v lagunách a za nedostatku kyslíku se hnůj a zvířecí výkaly rozkládají. Takto je neustále rostoucí celospolečenská poptávka po masě zaplácena 2,87 Gt CO₂eq skleníkových plynů, což odpovídá 5,8 % světových emisí [18].

Grafu na obr. 1.7 ukazuje, že oxid uhličitý se na celkových globálních emisích podílí z více než tří čtvrtin – oxid uhličitý vzniklý spalováním fosilních paliv se podílí ze 65 % a oxid uhličitý z lesnictví a další správy půdy z 11 %. Dále graf ukazuje, že z celkových emisí je 16 % metanu, 6 % oxidu dusného a zbylá 2 % emisí připadají na fluorochlorohydrodiki [19].



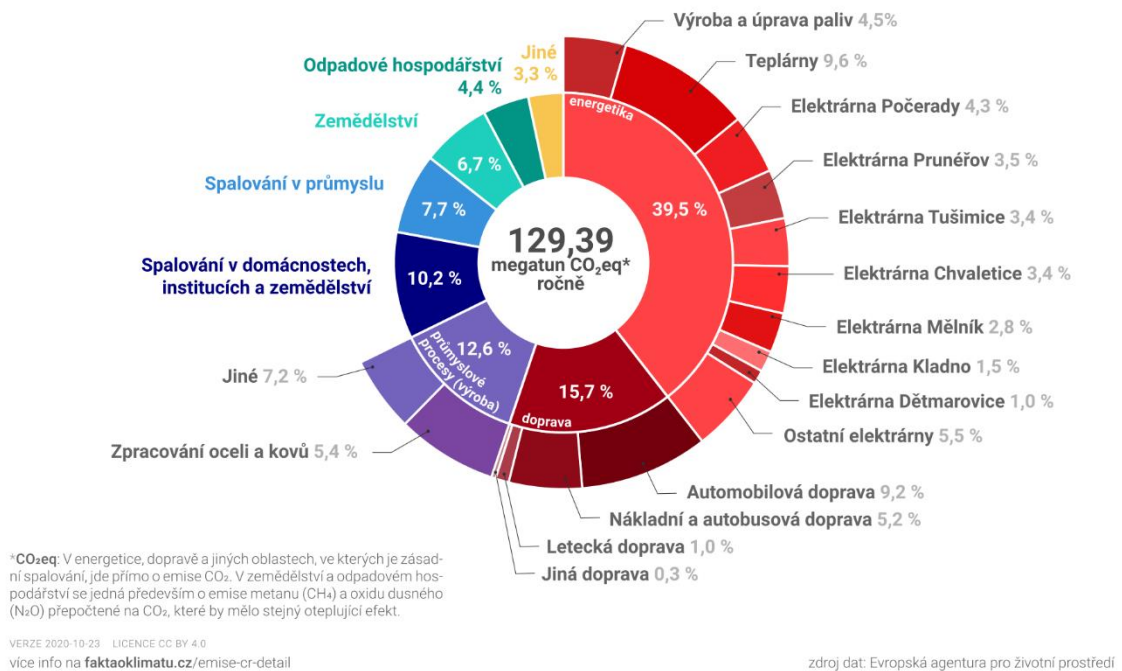
Obr. 1.7 Podíl jednotlivých skleníkových plynů na globálních emisích [19].

V České republice bylo za rok 2018 emitováno 129,39 Mt CO₂eq, to odpovídá 12,19 t CO₂eq/obyvatele [20]. To znamená, že každý z nás „emituje“ 33,4 kg CO₂eq/den. Toto množství odpovídá 0,26 % světových emisí v roce 2016. V grafu na obrázku 1.8 je vidět, že rozložení emisí do jednotlivých sektorů je velmi podobné jako ve světě.

Z grafu také vyplývá, že 15,7 % ročních emisí v naší republice je vyprodukováno v dopravním sektoru. Každý rok je v dopravním sektoru emitováno 20,3 Mt CO₂eq [20].

EMISE SKLENÍKOVÝCH PLYNŮ V ČR PODLE SEKTORŮ DETAILNĚ

Celkové emise ČR za rok 2018

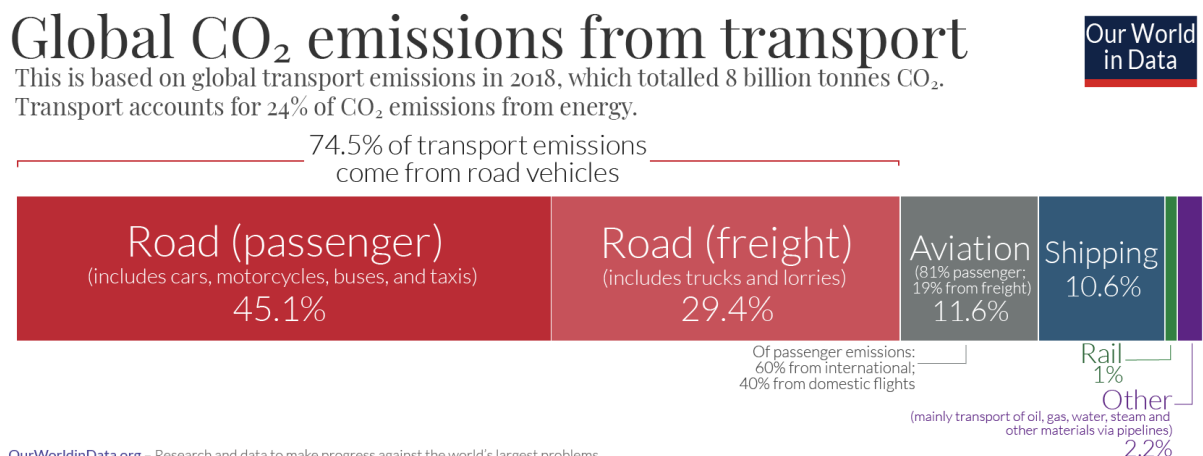


Obr. 1.8 Emise skleníkových plynů v ČR podle sektorů [20].

2 Dopravní sektor

Ačkoli dopravní sektor není největším emitentem skleníkových plynů, hovoří se o něm častěji než o jakémkoli jiném sektoru. Důvodem nejspíš je, že je nejvíce vidět a nám všem velmi dobře známý.

V závislosti na provedené studii, studovaném období dopravní sektor představuje 16,2 % veškerých emisí [18] nebo 21 % světových emisí oxidu uhličitého [21].



Obr. 2.1 Graf rozložení emisí oxidu uhličitého v rámci dopravního sektoru [21].

2.1 Silniční doprava

Silniční doprava představuje téměř tři čtvrtiny emisí oxidu uhličitého z dopravního sektoru, při porovnání se všemi emisemi to je 15 % [21]. V rámci emisí všech skleníkových plynů v dopravním sektoru silniční doprava představuje 73,5 % emisí [18]. Spalováním paliva vzniká převážně oxid uhličitý. Mezi další emitované skleníkové plyny patří metan a oxid dusný, které je ve spalinách zastoupeny z 0,1 – 0,3 % respektive 2,0 – 2,8 % [22].

Ze statistických důvodů se emise ze silniční doprava často dělí na emise z osobní a z nákladní silniční dopravy. Do první skupiny spadají emise z motocyklů, osobních automobilů a autobusů. Emise v nákladní silniční dopravě zahrnují emise lehkých užitkových vozidel (dodávek) a nákladních automobilů. Z osobní přepravy pochází 60 % emisí oxidu uhličitého z celé silniční dopravy, v nákladní dopravě vzniká zbylých 40 % emisí.

Emise v silniční dopravě závisí na mnoha faktorech. Abychom byli schopni porovnávat emise mezi jednotlivými druhy vozidel, předpokládáme, že všichni řidiči by ve stejném prostředí za stejné situace reagovali úplně stejně. Tím budeme moci spotřebu paliva a množství emisí považovat závislé pouze na prostředí, v jakém se pohybujeme, a velikost vozidla, se kterou je spojena velikost motoru. V tabulce 2.1 jsou zahrnuty průměrné spotřeby nafty a benzínu na 100 km pro v závislosti na velikosti vozidla a oblasti, ve které se pohybuje [23].

Tab. 2.1 Průměrná spotřeba paliva osobních automobilů [23].

| | diesel [l/100 km] | | | benzín [l/100 km] | | |
|---------|-------------------|---------|-------|-------------------|---------|-------|
| | malý | střední | velký | malý | střední | velký |
| Dálnice | 4,5 | 5,3 | 6,7 | 6,3 | 7,5 | 9,2 |
| Venkov | 3,8 | 4,5 | 5,8 | 4,9 | 5,8 | 7,2 |
| Město | 5,7 | 6,7 | 8,4 | 7,3 | 8,7 | 10,5 |

Pro zjednodušení jsem z tabulky 2.1 vypočítal průměrnou spotřebu nafty a benzínu na 100 km pro osobní automobily. Pro naftu je průměrná spotřeba 5,7 l/100 km a pro benzín 7,4 l/100 km, tedy o 1,7 l/100 km více než nafty. Rozdíl ve spotřebě naftového a benzínového motoru vychází z konstrukce motorů, obecně je známo, že naftový motor má nižší spotřebu než benzínový motor se stejným výkonem jako motor naftový. Emise z pohonných hmot závisí především na druhu pohonných hmot a na aditivech do nich přidaných. Pro naftu celková hodnota emisí činí 2 640 g/l, u benzínu je to méně, 2392 g/l [24]. V tabulce 2.2 jsou uvedeny hodnoty emisí oxidu uhličitého pro další druhy paliv.

Tab. 2.2 Emise oxidu uhličitého z jednotlivých druhů paliv [24].

| Palivo | Nafta | Benzín | LPG | CNG |
|-------------------------------|-------|--------|------|-------|
| Emise [gCO ₂ eq/l] | 2640 | 2392 | 1665 | 2459* |

* počítáno v [gCO₂eq/kg]

Pro naftový osobní automobil je pak hodnota emisí oxidu uhličitého na 100 km ujeté vzdálenosti rovna 15,048 kg. Pro benzínový jsou emise oxidu uhličitého rovny 17,7 kg/100 km. Pro lepší možnost porovnávání emisí mezi jednotlivými druhy dopravy se emise přepočítávají na jednoho cestujícího a kilometr ujeté vzdálenosti. Když plně obsadíme běžný osobní automobil, který má v dnešní době místa pro pět lidí, tak emise naftového automobilu odpovídají hodnotě 30 gCO₂eq/Skm, pro stejný automobil v benzínové motorizaci je tato hodnota rovna 35 gCO₂eq/Skm. Z toho vyplývá, že benzínový motor z hlediska emisí je horší než motor naftový.

Tato čísla by byla ideální, kdyby všechny automobily jezdily vždy plně obsazené, toho však v realitě není možné docílit. Data Evropské agentury pro životní prostředí (EEA) z roku 2017 ukazují, že průměrná hodnota měrných emisí oxidu uhličitého pro osobní automobily v roce 2014 byla rovna 107 gCO₂eq/Pkm [25]. V dnešní době je průměrné obsazení osobního automobilu přibližně dvě osoby, proto byla hodnota intenzity emisí přepočtena z dat sepsaných výše na jednoho cestujícího. Tato hodnota průměrně činí 81 gCO₂eq/Pkm.

Stejný článek EEA se také věnuje emisím z autobusů a dvoukolových vozidel, motorek. V roce 2014 v Evropské unii byly měrné emise autobusů rovny 56 gCO₂eq/Pkm a emise jednostopých vozidel 81 gCO₂eq/Pkm [25].

Druhou skupinou jsou výše zmíněná lehká užitková vozidla a těžké nákladní automobily. Přesun zboží po silnici celosvětově spotřebovává 50 % vyprodukované nafty. Zároveň je

nákladní silniční doprava nejrychleji rostoucím emitentem oxidu uhličitého a předpokládá se, že aktivita tohoto způsobu dopravy se do roku 2050 více než zdvojnásobí oproti roku 2015 [26].

V roce 2014 emise oxidu uhličitého těžkých nákladních vozidel se rovnaly 106 gCO₂eq/tkm. U dodávek byla tato hodnota rovna 329 gCO₂eq/tkm, tedy více než trojnásobek oproti těžkým automobilům [25]. S rostoucí intenzitou dopravy rostou i hodnoty emisí, zvláště v dnešní době s masivním rozvojem kurýrních služeb, kdy si každý může objednat jídlo až ke svým dveřím. Dále předpokládám, že v datech z posledního roku bude velký nárůst emisí i množství převezeného zboží, protože jsme v této době kvůli pandemii nemoci Covid-19 odkázáni především na nakupování na e-shopech.

2.2 Železniční doprava

Přibližně jedna třetina veškeré železniční dopravy je vedena diesellovými lokomotivami a zbylé dvě třetiny elektrickými [27]. V Evropě je tento podíl vyšší, zpráva Mezinárodní železniční unie a Mezinárodní agentury pro energii udává, že až 80 % železniční dopravy je provedeno elektrickými vlaky [28]. Proto emise v železniční dopravě jsou z velké části spojené s emisemi z produkce elektrické energie, které jsou měřeny v uhlíkové intenzitě, jejíž hodnota je udávána v CO₂eq/kWh.

Pro porovnání emisí ze železniční dopravy jsem si vybral osm států Evropy. Jsou to Rakousko (AT), Česká republika (CZ), Německo (DE), Španělsko (ES), Francie (FR), Polsko (PL), Švédsko (SE) a Slovensko (SK). Německo, Španělsko a Francii jsem vybral, protože jsou to země s rozvinutou vysokorychlostní železniční infrastrukturou v Evropě. Českou republiku jsem zvolil, protože je to stát, ve kterém žiji. K České republice jsem vybral její sousedící země, k Německu tedy přibyly Rakousko, Polsko a Slovensko. Švédsko jsem zvolil jako zástupce států s velmi nízkou uhlíkovou intenzitou. Nižší uhlíkovou intenzitu z vyrobené energie v Evropě mají Norsko a Island, ale tyto dva státy nemají tak hustou železniční síť, v případě Islandu žádnou. Pro těchto osm států jsem v období od 24. 3. 2021 do 30. 3. 2021 odečítal hodnoty uhlíkových intenzit a ty zanesl do tabulky v příloze A-1. Průměrné denní hodnoty a průměrnou hodnotu za celé období jsem zanesl do tabulky 2.3.

Tab. 2.3 Uhlíková intenzita pro vybrané státy [29].

| uhlíková intenzita [gCO ₂ eq/kWh] | | stát | | | | | | | |
|--|--------|------|-----|-----|-----|----|-----|----|-----|
| den | čas | AT | CZ | DE | ES | FR | PL | SE | SK |
| 24.03.2021 | průměr | 238 | 435 | 366 | 170 | 74 | 676 | 39 | 270 |
| 25.03.2021 | průměr | 274 | 426 | 402 | 166 | 74 | 670 | 41 | 276 |
| 26.03.2021 | průměr | 234 | 433 | 291 | 150 | 55 | 649 | 41 | 293 |
| 27.03.2021 | průměr | 170 | 411 | 168 | 128 | 47 | 545 | 42 | 299 |
| 28.03.2021 | průměr | 169 | 383 | 174 | 134 | 55 | 566 | 45 | 294 |
| 29.03.2021 | průměr | 214 | 420 | 211 | 122 | 59 | 601 | 39 | 287 |
| 30.03.2021 | průměr | 201 | 422 | 308 | 125 | 65 | 627 | 36 | 268 |
| týden | průměr | 214 | 418 | 274 | 142 | 61 | 619 | 41 | 284 |

Jsem si vědom toho, že toto období, týden, je krátké pro postižení sezónních výkyvů v produkci elektrické energie (např. solární). Data byla však odečítána několik dní po jarní rovnodennosti, kdy v Evropě sluneční den trvá dvanáct hodin, tedy výkyv v uhlíkové intenzitě ze solární

energie by mohl zanedbán. Na závěr byla tato data porovnána s daty ze studie EcoPassenger [23], která byla přepočítána na uhlíkovou intenzitu. Vezmu-li v úvahu zvyšující se podíl obnovitelných zdrojů ve výrobě elektrické energie od doby, kdy byla studie EcoPassenger provedena, pak mohu tvrdit, že data mnou odečtená, odpovídají realitě. Další porovnání bylo provedeno pouze pro data z České republiky, v roce 2019 byla hodnota emisního faktoru z výroby elektrické energie rovna 0,428 tCO₂eq/MWh [30]. Tato hodnota po přepočtu je rovna 428 gCO₂eq/KWh. Ovšem pro přesné posouzení emisí z výroby elektrické energie by měřené období muselo být výrazně delší, nejlépe celý rok.

Tab. 2.4 Měrná spotřeba energie v železniční dopravě [23].

| | Elektrická [Wh/pkm] | Diesel [g/pkm] |
|------------------------|---------------------|----------------|
| Měrná spotřeba energie | 88,2 | 25,2 |
| | Elektrická [Wh/Skm] | Diesel [g/Skm] |
| Měrná spotřeba energie | 30,9 | 8,8 |

V tabulce 2.4 jsou uvedeny průměrné hodnoty měrné spotřeby elektrické energie a měrná množství emisí pro vlaky nezávislé trakce. Hodnoty v prvním řádku jsou uvažovány na cestujícího a kilometr ujeté vzdálenosti za předpokladu 35% obsazenosti. V dolní řádce jsou tyto hodnoty vztažena na sedadlo a kilometr. Z této tabulky je dále patrné, že i vlak v dieselové trakci při 35% obsazenosti je z hlediska emisí šetrnější k životnímu prostředí než plně obsazený osobní automobil.

Z předchozích dvou tabulek lze pouze odhadnout přibližná hodnota emisí ze železniční dopravy ve vybraných státech, protože každý ze států zajišťuje přepravu elektrickými hnacími vozidly jiným podílem. Celosvětově je jedna třetina tratí elektrifikována [31], avšak pouze 31,8 % vlaků v Evropě za rok 2015 bylo vedeno diesellovými lokomotivami [32]. Pro porovnání převedu měrnou spotřebu elektrické energie na měrné množství emisí a následně vypočítám vážený průměr těchto hodnot pro každý stát. Tyto hodnoty jsou zaneseny v tabulce 2.5.

Tab. 2.5 Průměrné hodnoty měrných emisí ve vybraných státech.

| Stát | AT | CZ | DE | ES | FR | PL | SE | SK |
|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Intenzita [gCO ₂ eq/Pkm] | 20,9 | 33,2 | 24,5 | 16,6 | 11,7 | 45,2 | 10,5 | 25,1 |
| Intenzita [gCO ₂ eq/Skm] | 7,3 | 11,6 | 8,6 | 5,8 | 4,1 | 15,8 | 3,7 | 8,8 |

Z tabulky 2.5 dále plyne, že Česká republika má druhé největší emise ze železniční dopravy z vybraných států. Hůře je na tom Polsko, které vyrábí elektrickou energii ze 70 % v uhelných elektrárnách. Nejmenší emise mají Švédsko, Francie a Španělsko. Francie ze dvou třetin vyrábí elektřinu v jaderných elektrárnách, Švédsko ze 45 % ve vodních elektrárnách, ze 40 % v jaderných elektrárnách [29]. Španělsko vsadilo na obnovitelné zdroje, výkyvy v elektrické síti snižuje přečerpávacími a plynovými elektrárnami. Emise ze spotřeby elektrické energie nejsou ovlivněny jen emisemi z výroby elektrické energie v daném státě, ale i emisemi z výroby dovezené energie ze sousedních států. Příkladem může být Polsko, které se s uhlíkovou intenzitou z vyrobené energie pohybuje mezi 700–750 gCO₂eq/kWh [29]. Import energie z Německa a ze Švédska s nízkou uhlíkovou intenzitou snižuje hodnotu uhlíkové intenzity ze spotřebované energie v závislosti na množství importované energie.

Z hodnot v tabulce 2.5 byl následně vypočítány aritmetické průměry, jejichž hodnoty vyšly 23,46 gCO₂eq/Pkm a 8,21 gCO₂eq/Skm. První hodnota byla následně porovnána s hodnotou měrných emisí CO₂ uváděné Evropskou agenturou pro životní prostředí, která uvádí, že v roce 2014 hodnota měrných emisí z osobní železniční dopravy byla 28,39 gCO₂eq/Pkm [25]. Na stejném místě agentura také uvádí emise pro nákladní železniční dopravu, které v roce 2014 činily 15,6 gCO₂eq/tkm [25]. Za předpokladu, že došlo ke stejnému snížení emisí jako v osobní dopravě, můžeme poměrně přesně odhadnout hodnotu emisí v dnešní době, které by mohly činit 12,89 gCO₂eq/tkm.

2.3 Lodní doprava

Lodní přeprava je velký a rychle rostoucí zdroj skleníkových plynů. Průměrné roční množství emitovaných skleníkových plynů v letech 2007 až 2012 bylo přibližně 1040 Mt CO₂eq, toto množství odpovídá 2,8 % celosvětových emisí v roce 2012 [33]. Novější data ukazují, že emise lodní dopravy odpovídají 1,7 % veškerých světových emisí a 10,6 % emisí v dopravním sektoru [21]. V Evropské unii emise z lodní dopravy představují 13 % veškerých emisí skleníkových plynů dopravního sektoru [34].

Ačkoli tento způsob dopravy zodpovídá za 2,8 % světových emisí, tak tyto emise jsou koncentrovány okolo východo-západních obchodních cest a kolem relativně malého množství plavidel. Lodě přepravující volně ložený náklad, ropné tankery a kontejnerové lodě jsou zodpovědné za 85 % [35] lodní aktivity, a tedy přibližně i za stejné množství emisí. Přibližně 45 % mezinárodního lodního obchodu prochází skrz 20 největších světových přístavů [35].

Při aktuální rychlosti růstu emisí lodní dopravy a při úspěšné redukci skleníkových plynů podle mezinárodních dohod by mohly emise z lodní dopravy v roce 2050 představovat až 10 % světových emisí [36].

Lodní doprava je velmi efektivní způsob přepravy zboží, protože intenzita CO₂ se pohybuje velmi nízko. Faktory CO₂ pro tři nejvíce využívaná plavidla jsou uvedeny v tabulce 2.6. Průměrná hodnota emisí v lodní dopravě je rovna 5 gCO₂eq/tkm [35]. Tato nízká čísla ukazují, že naprostá většina mezinárodního obchodu je prováděna právě lodní dopravou. Zároveň bylo možné dosáhnout těchto malých čísel tím, že je velké množství nákladu přepravováno na jednom plavidle, to je umožněno možnou konstrukcí plavidel takových rozměrů.

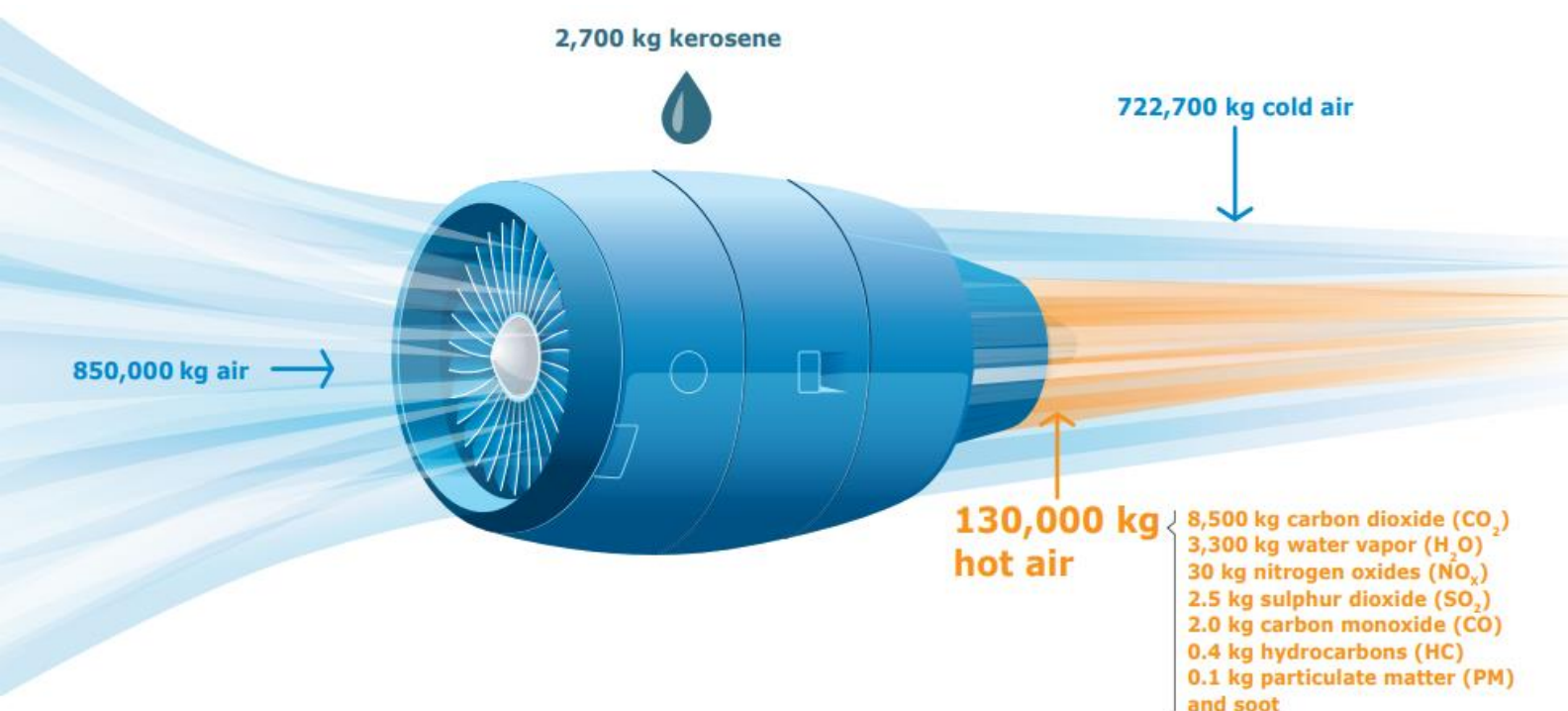
Tab. 2.6 Faktory CO₂ pro tři nejvíce využívaná plavidla [35].

| | kontejnerová loď | ropný tanker | bulk carrier * |
|-------------------------------------|------------------|--------------|----------------|
| Intenzita [gCO ₂ eq/tkm] | 3 | 6 | 8 |

* bulk carrier - loď přepravující volně ložený náklad

3 Letecká doprava

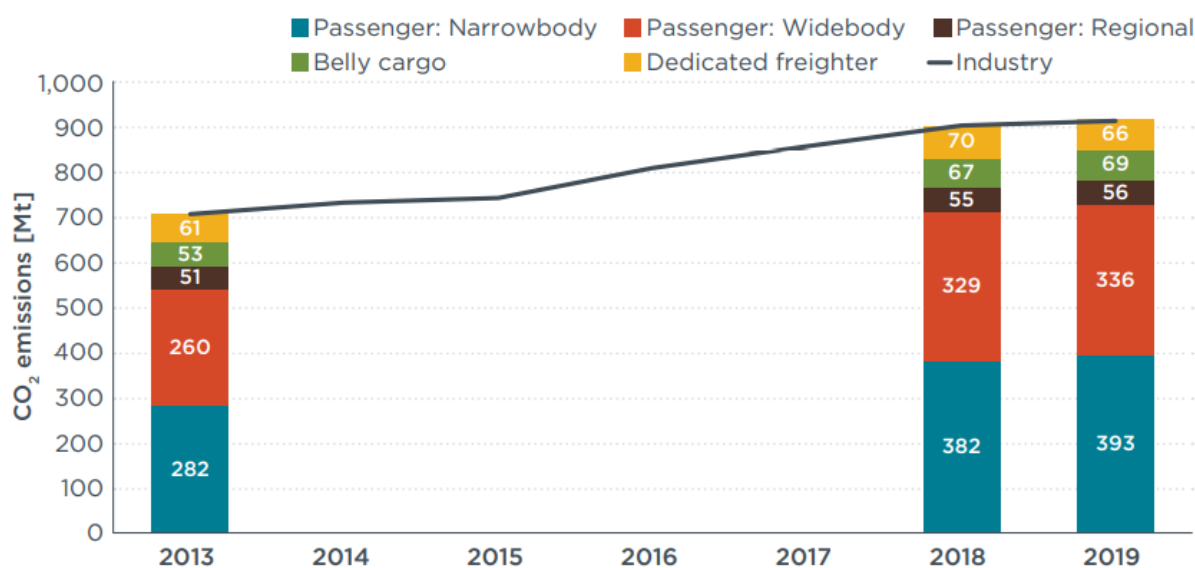
Letecká doprava je celosvětově zodpovědná za 11,6 % emisí z dopravy, z pohledu všech emisí to odpovídá 1,9 % [21]. V Evropské unii je tento podíl roven 13,9 % [37]. To řadí leteckou dopravu jako druhého největšího emitenta skleníkových plynů v dopravním sektoru. Hlavním zdrojem emisí jsou letecké motory, které jsou zdrojem oxidu uhličitého, oxidů dusíku a síry, nespálených uhlovodíků, oxidu uhelnatého, drobných částic a sazí [38]. Obrázek 3.1 ukazuje množství emisí typického dvoumotorového letadla během hodinového letu se 150 cestujícími na palubě. Je z něj patrné, že největším dílem je zastoupený oxid uhličitý a následně vodní pára, která po opuštění motoru téměř ihned desublimuje a vytváří kondenzační stopy za proudovými letadly.



Obr. 3.1 Přehled emisí typického dvoumotorového letadla během hodinového letu se 150 cestujícími [38].

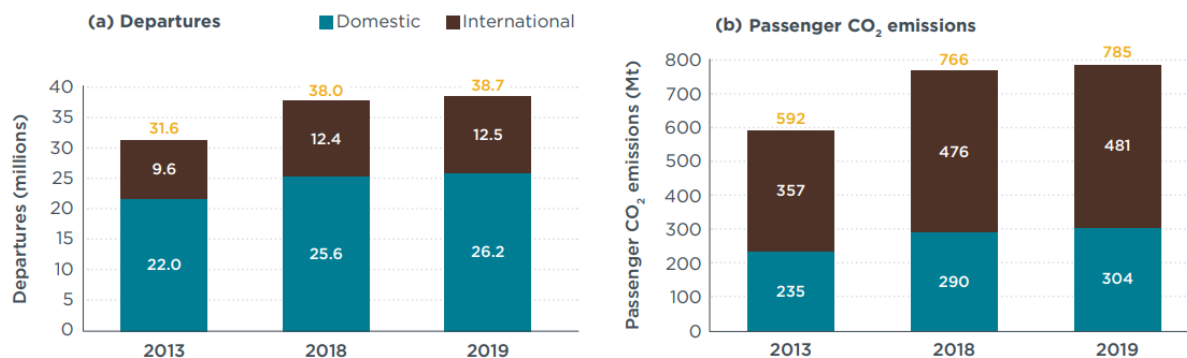
Podle zprávy Mezinárodní rady pro čistou dopravu byla v roce 2019 letecká doprava, osobní i nákladní, zodpovědná za emitování 920 milionů tun oxidu uhličitého. Odpovídá to přibližně 30% nárůstu oproti roku 2013 s 706 miliony tun emitovaného oxidu uhličitého. To znamená, že emise oxidu uhličitého každý rok narostly průměrně o 4,5 % [39]. Dle zprávy Mezinárodní agentury pro energii emise oxidu uhličitého letecké dopravy činily téměř 1 Gt [40]. Toto potvrzuje i přepočítání dat od Hannah Ritchie z webu „Our World in Data“, jež udává hodnotu 938,6 Mt CO₂eq [18]. Přestože se provozovatelé a výrobci letadel snaží snižovat emise zaváděním různých opatření, vynalézáním a úpravou prvků na draku letadla, které nepřímou snižují emise, a konstrukcí účinnějších motorů, emise stále rostou kvůli neustále rostoucí poptávce. Rostoucí trend byl přerušeno na jaře roku 2020 globální pandemií nemoci Covid-19, kdy prakticky veškerá letecká doprava ustala během několika týdnů. V celé Evropě tak emise oxidu uhličitého průměrně klesly o 57 %, i když se hodnoty v jednotlivých státech výrazně liší [41].

V roce 2019 bylo 785 Mt oxidu uhličitého emitováno v osobní přepravě, to odpovídá 85 % emisí CO₂ v letecké dopravě. 43 % celkových emisí bylo spojeno s přepravou cestujících úzkotrupými, 37 % širokotrupými a 6 % regionálními letadly. Zbýlých 15 %, 135 Mt, je z přepravy nákladu, který se dělí ještě na přepravu nákladu označované jako „belly cargo“ podílející se 8 % a na přepravu nákladními letadly se 7% podílem [39]. Termín „belly cargo“ označuje náklad přiložený do osobních letadel za účelem maximálního využití kapacity. Množství emisí CO₂ z let 2013, 2018 a 2019 jsou graficky znázorněny na obrázku 3.2. Poměr emisí z osobní a nákladní dopravy se razantně změnil po ukončení veškeré osobní letecké dopravy po propuknutí celosvětové pandemie, kdy aerolinky začaly převážet zdravotnický materiál na palubách osobních letadel, což bylo do roku 2020 nemyslitelné.



Obr. 3.2 Emise oxidu uhličitého rozdělené dle druhu přepravy a třídy letadel [39].

Globálně byly v roce 2019 dvě třetiny letů vnitrostátní, přesto emise z těchto letů zodpovídaly za 40 % emisí CO₂ spojených s osobní přepravou. Zbýlá třetina letů byly lety mezinárodní, které způsobily 60 % těchto emisí [39].

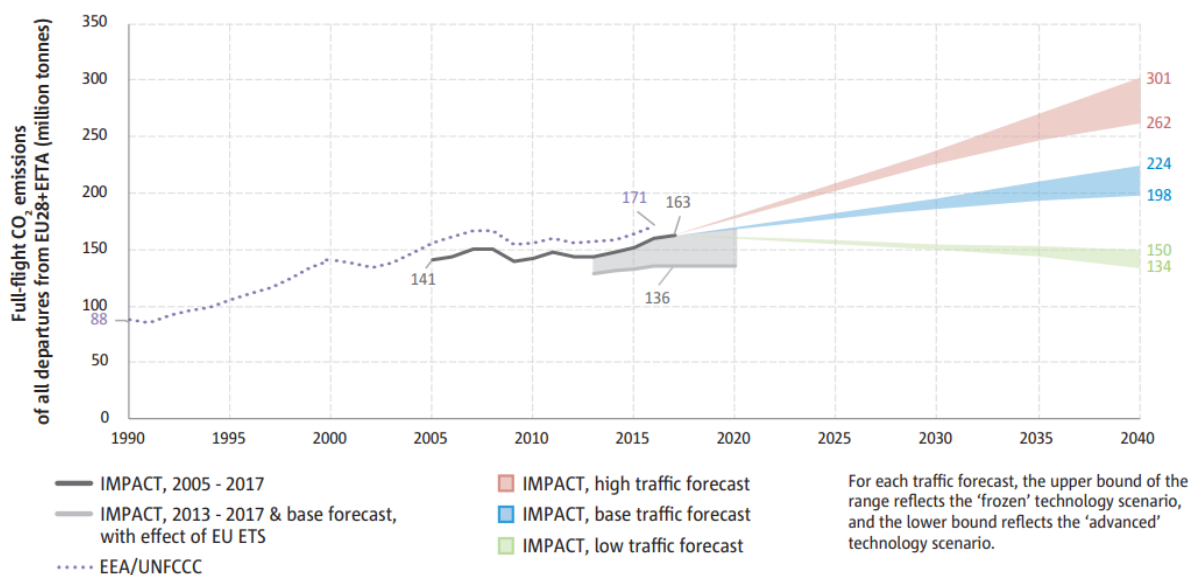


Obr. 3.3 Počet letů a emise CO₂ na jednoho cestujícího [39].

Obrázek 3.3 ukazuje graf vývoj počtu letů (a) a emisí na jednoho cestujícího (b) rozdělené podle toho, jestli se jednalo o vnitrostátní, nebo mezinárodní let. Celkový počet letů od 2013 do 2019 narostl o 23 % a emise oxidu uhličitého z přepravy osob narostly o 33 %. Zároveň ve stejném období se počet mezinárodních letů a emise s nimi spojené rostly oproti vnitrostátním rychleji.

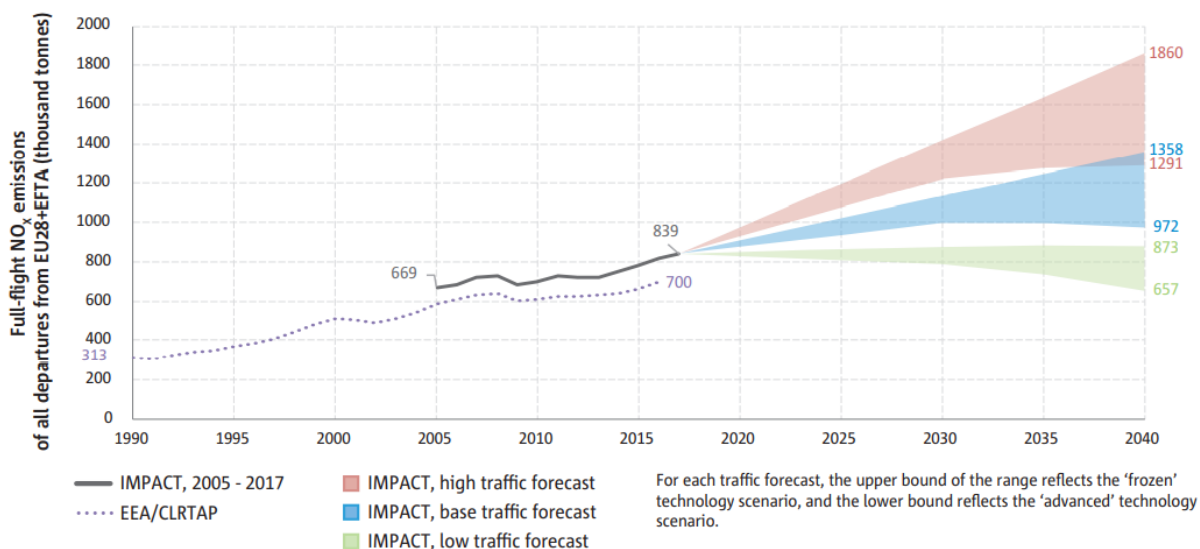
V Evropské unii emise oxidu uhličitého v letecké dopravě od roku 1990 rostou. V roce 2016 emise CO₂ dosáhly množství 171 milionů tun, což je ve srovnání s rokem 1990 nárůst o 95 %. Toto množství odpovídá 3,6 % celkových emisí skleníkových plynů v Evropské unii za stejný rok a 13,4 % emisí z dopravního sektoru [38]. S redukcí emisí v ostatních sektorech průmyslu v Evropě se téma emisí z letecké dopravy a jejich redukce stává důležitějším než kdykoli předtím. Emise CO₂ z evropského letectví představovaly v roce 2015 jednu pětinu světových emisí z letectví [38].

Graf na obrázku 3.4 zobrazuje vývoj emisí CO₂ od roku 1990 a zároveň ukazuje predikci vývoje těchto emisí se třemi různými scénáři: za zvýšeného tempa růstu dopravy (červená barva), za stávajícího tempa (modrá barva) a za sníženého tempa růstu letecké dopravy (zelená barva). Dolní hranice vyznačeného vývoje každého scénáře odpovídá vývoji emisí za předpokladu dalšího vývoje technologií, horní hranice bez dalšího rozvoje technologií na snížení emisí.



Obr. 3.4 Vývoj emisí CO₂ v Evropské unii [38].

Podobně je to i s emisemi oxidů dusíku, jejichž množství narostlo z 313 tisíc tun v roce 1990 na 700 tisíc tun v roce 2016. Stejně jako v případě emisí oxidu uhličitého se předpokládá nárůst, v nejhorsím scénáři až o více než dvojnásobek do roku 2040 [38]. Dnes už víme, že tento nárůst nebude tak velký kvůli celosvětové pandemii koronaviru SARS-CoV-2. Vývoj emisí oxidů dusíku je znázorněn v grafu na obrázku 3.5. Emise ostatních dalších skleníkových plynů, zejména oxidu uhelnatého a oxidů síry také od roku 1990 vzrostly, zatímco u ostatních druhů dopravy klesly [38].



Obr. 3.5 Vývoj emisí oxidů dusíku v Evropské unii [38].

Zatímco se emise oxidu uhličitého a oxidů dusíku neustále zvyšovaly, emise uhlovodíků, oxidu uhelnatého a částic zůstaly mezi lety 2005 a 2014 na stejné úrovni díky tomu, že aerolinky obnovovaly svoje letky. Předpokládaný vývoj těchto emisí je stejný jako v případě CO₂ a NO_x. V roce 2017 se předpokládá jejich mírný růst i v případě vývoje nových účinnějších motorů [38].

Tab. 3.1 Souhrn emisí založených na modelu IMPACT [38].

| | Jednotky | 2005 | 2014 | 2017 |
|---|-------------|--------|---------------------|---------|
| | | | (% změna vůči 2005) | |
| Průměrná spotřeba paliva na komerčních letech | kg/Pkm | 0,0355 | 0,0294 | 0,027 |
| | l/100Pkm | 4,4 | 3,7 | 3,4 |
| CO ₂ | miliony tun | 141 | 148 | 163 |
| | | | (+5 %) | (+16 %) |
| NO _x | tisíce tun | 669 | 749 | 839 |
| | | | (+12 %) | (+25 %) |
| uhlovodíky | tisíce tun | 55 | 53 | 57 |
| | | | (-4 %) | (+3 %) |
| CO | tisíce tun | 110 | 102 | 108 |
| | | | (-7 %) | (-2 %) |
| těkavé látky | tisíce tun | 126 | 123 | 136 |
| | | | (-3 %) | (+8 %) |
| netěkavé látky | tisíce tun | 76 | 55 | 53 |
| | | | (-27 %) | (-30 %) |

Tabulka 3.1 ukazuje srovnání průměrné spotřeby paliva a množství emitovaných plynů za rok v letech 2005, 2014 a 2017. Je z ní patrné, že spotřeba paliva byla v roce 2017 o 24 % [38] nižší než v roce 2005. To může být způsobeno vývojem a konstrukcí leteckých motorů a obnovování letek jednotlivých dopravců. Emise většiny emitovaných látek rostly, pouze emise oxidu uhelnatého a netěkavých látek poklesly o 2 %, resp. 30 % [38]. I přesto, že spotřeba paliva klesla, rostoucí absolutní množství emisí ukazuje, že letecká doprava na druhou stranu rostla. To také potvrzují data Mezinárodní rady pro čistou dopravu z října 2020 v tabulce 3.2, ve které je vidět, že emise rostly, ale intenzita emisí na cestujícího a kilometr vzdálenosti klesal.

Tab. 3.2 Vývoj celkových roční emisí a průměrné hodnoty emisní intenzity [39].

| Rok | Emise [CO ₂ eq] | Intenzita [gCO ₂ eq/Pkm] |
|------|----------------------------|-------------------------------------|
| 2013 | 566 | 98 |
| 2018 | 766 | 92 |
| 2019 | 785 | 90 |

Špatná reputace letecké nákladní dopravy je založena na odhadu emisí vyprodukovaných na dálkovém letu. Toto množství se odhaduje až na 602 gCO₂eq/tkm [42]. Jiný zdroj udává množství emisí 435 gCO₂eq/tkm pro Boeing 747 [35]. To znamená, že na letu dlouhém deset tisíc kilometrů každá tuna nákladu „vyprodukuje“ 4,3-6 tun emisí. Avšak tato hodnota může být zavádějící, protože ne všechny aerolinky vlastní dedikovaná nákladní letadla a přibližně polovina nákladu je přepravovaná jako „belly cargo“. Emise tohoto nákladu jsou pak způsobeny spálením dodatečného množství paliva potřebného k pokrytí hmotnosti nákladu. To snižuje uhlíkovou stopu nákladu přiloženého do zbývajících volného místa v osobním letadle na 60–90 gCO₂eq/tkm [42].

4 Vliv dopravy na globální oteplování

Aby bylo možné objektivně posoudit vliv jednotlivých druhů dopravy na globální oteplování, bylo nutné vypočítat intenzitu emisí na jednoho cestujícího a kilometr, v případě nákladní dopravy na tunu nákladu a kilometr. To bylo provedeno v rámci předcházejících kapitol, pro přehlednost byly však zaneseny do tabulky 4.1. Společně s intenzitou zde byla zanesena data i o celkovém množství emitovaných emisí v roce 2016.

Tab. 4.1 Přehled emisí jednotlivých druhů dopravy [18; 35; 39].

| druh dopravy | | Intenzita [gCO ₂ eq/Pkm] | Intenzita [gCO ₂ eq/tkm] | Emise [Mt CO ₂ eq] | |
|--------------|----------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|------|
| silniční | osobní | jednostopá vozidla | 81 | - | 3527 |
| | | osobní automobily | 81 | - | |
| | | autobusy | 56 | - | |
| | nákladní | lehká užitková vozidla | - | 329 | 2352 |
| | | těžká nákladní vozidla | - | 106 | |
| železniční | osobní | 23,5 | - | 198 | |
| | nákladní | - | 12,9 | | |
| lodní | | - | 5 | 840 | |
| letecká | osobní | 90 | - | 939 | |
| | nákladní | - | 602 (90) | | |

Z porovnání v tabulce 4.1 vyplývá, že nelze jednoznačně určit, který druh dopravy je nejméně šetrný k životnímu prostředí. Při porovnání absolutních hodnot emisí je patrné, že nejvíce ekologická je doprava železniční, která emitovala do ovzduší 198 Mt CO₂eq [18] a zároveň skleníkové plyny emituje s velmi nízkou intenzitou – v osobní přepravě 23,5 gCO₂eq/Pkm a 12,9 gCO₂eq/tkm v dopravě nákladní.

V lodní dopravě převládá nákladní doprava, protože tento druh dopravy je relativně pomalý, avšak umožňuje přepravu velkého množství zboží. Díky stavbě obrovských plavidel bylo možné dosáhnout toho, že intenzita emisí v lodní dopravě je na nízkých 5 gCO₂eq/tkm [35]. Toto pozitivum však dost sráží celkové množství emitovaných skleníkových plynů kvůli velké intenzitě dopravy.

Silniční doprava je v porovnání celkových emisí na posledním místě, osobní i nákladní doprava dohromady za rok 2016 emitovaly 5879 Mt CO₂eq, to odpovídá necelým 12 % veškerých světových emisí [18]. To je dáno nepříliš malou intenzitou emitovaných skleníkových plynů a také velkou intenzitou silniční dopravy, protože silniční doprava je nejflexibilnějším druhem dopravy a tímto způsobem jsme schopni se relativně rychle dopravit na místa, kam se jiné druhy dopravy nedostanou.

Letecká osobní doprava z pohledu emisní intenzity není o moc horší než osobní automobil. Avšak pro nákladní dopravu emisní intenzita pro dedikovaná nákladní letadla dosahuje hodnoty 602 gCO₂eq/tkm [42], v případě doloženého nákladu do konvenčního letadla je intenzita srovnatelná s těžkými nákladními vozidly. Letecká doprava je rychle rozvíjející se hospodářský sektor a s jejím rozvojem by rychle rostly i emise. Proto se začala zavádět opatření na snižování emisí, aby nedošlo k nekontrolovanému nárůstu skleníkových plynů v zemské atmosféře a dalšímu výraznému zvyšování průměrné teploty.

Celkově letecká doprava v roce 2016 emitovala do ovzduší 0,92 Gt CO₂eq [39], v roce 2018 to bylo už 0,94 Gt CO₂eq [18; 21]. Ve stejném roce emise celého dopravního sektoru dosahovaly množství 8,00 Gt CO₂eq [18; 21]. Tedy se letecká doprava v roce 2016 podílela 11,6 % na množství emisí z celého dopravního sektoru a ve stejném roce letecká doprava „přispěla“ k celkovému množství přibližně 1,9 % [18]. V roce 2018 tento podíl byl 1,5 desetiny procenta vyšší.

Z dat v kapitole 1.2 bylo vypočteno průměrné množství emitovaných skleníkových plynů z přirozených zdrojů. Hodnoty jednotlivých zdrojů byly sečteny, kde bylo rozmezí, do součtu byl použit aritmetický průměr krajních hodnot. Celkové množství skleníkových plynů z přirozených zdrojů bylo vypočteno na 28,07 Gt CO₂eq. Z toho vyplývá, že každý rok do atmosféry unikne přibližně 3,5krát více skleníkových plynů přirozeným způsobem než z celého dopravního sektoru. Letecká doprava tak zodpovídá za 3,3 % emisí co přirozené zdroje.

Emise samotné letecké dopravy nepředstavují velký problém, problémem je celkové množství emitovaných plynů, které je 1,76 větší než emise přirozených zdrojů. Společně s kácením lesů, nejen deštných, ničením krajiny a dalšími aktivitami člověka zabíjíme organismy, které by si s určitým množstvím skleníkových plynů poradily a spotřebovaly například při svém růstu. Budou-li tyto organismy stále ubývat a emise růst, koncentrace skleníkových plynů v atmosféře se bude zvyšovat. To povede k dalšímu nárůstu teploty a jevům, které s nárůstem teploty souvisí, vymírání dalších organismů, zvyšování hladiny oceánů a jiné.

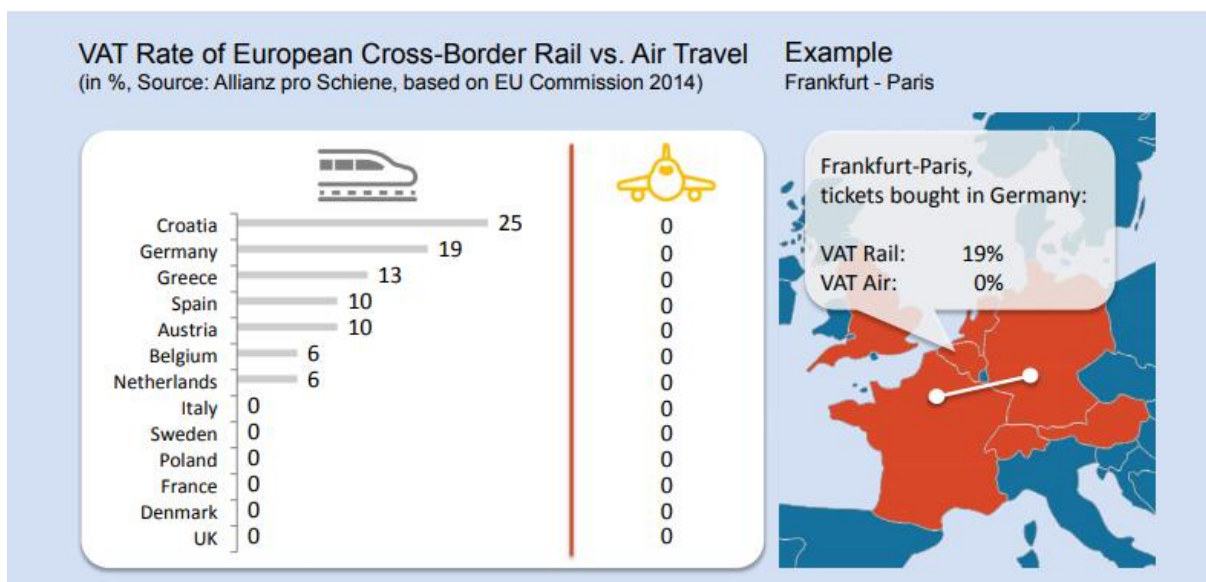
Dopad letectví na globální oteplování při porovnání s ostatními sektory průmyslu není velký, ale ani zanedbatelný. A proč tedy řešit emise letecké dopravy? Letecká doprava má velký potenciál co se týče rozvoje dopravy a nárůstu emisí, které by do roku 2040 mohly narůst na více než dvojnásobek hodnot z roku 2019. Pandemie koronaviru sice množství dopravy a emise snížila, ale je jen otázkou času, kdy se letecká doprava vrátí na úroveň roku 2019 a začne růst dále.

5 Ekonomie letecké dopravy

5.1 Podpora letectví v EU

Letectví, přesněji řečeno letecká doprava, je v Evropské unii dotována nemalými částkami. Každý rok letectví získává přímé dotace na provoz a rozvoj infrastruktury ve výši 3 miliard euro [43]. Spoustu menších letišť je ztrátových, proto jsou dotovaná Evropskou unií, státem nebo menším územně správním orgánem, na jehož území se dané letiště nachází.

Za druhé je letecká doprava osvobozena od placení základní spotřebitelské daně [43; 44], daně z přidané hodnoty (DPH), která se vztahuje na téměř všechno zboží a služby napříč Evropskou unií. Obrázek 5.1 ukazuje porovnání daňového zatížení mezistátní železniční a letecké dopravy ve vybraných státech Evropské unie [44]. Tato úleva na daních způsobuje minimální roční ztrátu 17 miliard euro [43] v rozpočtech členských států EU. V neposlední řadě, letecké palivo není v žádné členské zemi EU zdaněno. Napříč Evropou spotřebitelé platí průměrně 0,48 € za každý litr paliva [43] jako daň z pohonných hmot. Avšak letecké společnosti tuto daň neplatí.



Obr. 5.1 DPH na mezistátním železničním a leteckém spojení [44].

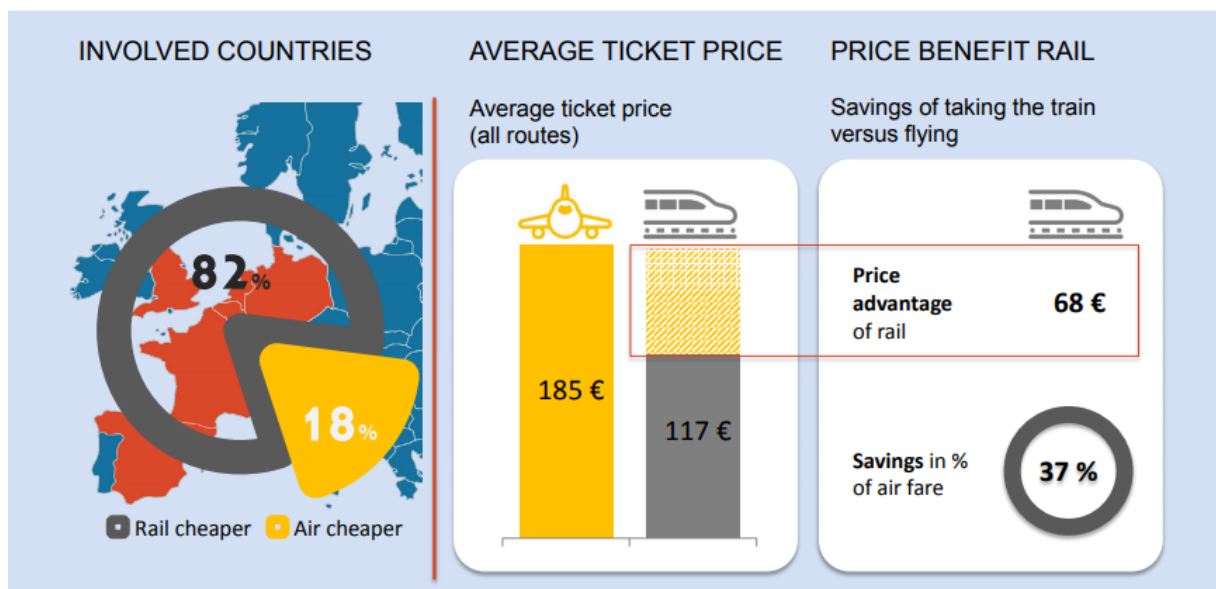
Tyto dotace a daňové úlevy snižují ceny letenek, a tak uměle navyšují poptávku po letecké dopravě. Tímto způsobem roste letecký provoz rychleji, než kdyby se letectví rozvíjelo „přirozenou“ cestou jako všechna ostatní odvětví dopravy.

5.2 Finanční výhodnost

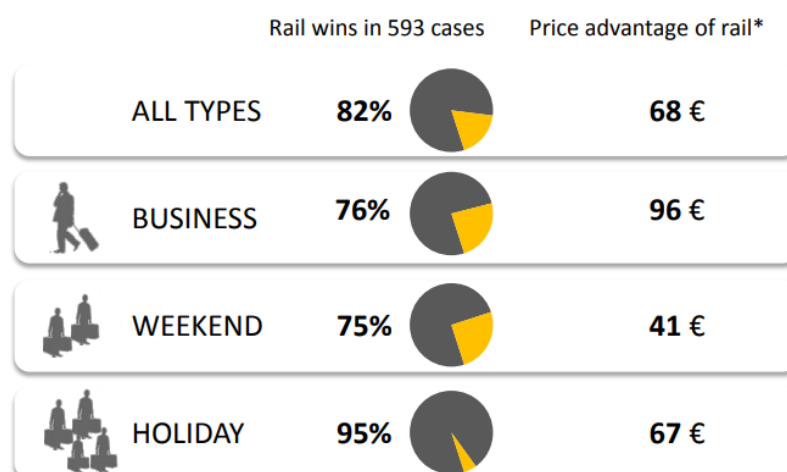
V roce 2015 Thomas Sauter-Servaes provedl pro Mezinárodní železniční unii studii na porovnání cen mezi leteckou, železniční dopravou mezi 30 evropskými městy. Pro vnitrostátní spojení byla zvolena nejvytíženější vnitrostátní spojení v evropských státech s největší rozlohou a rozvinutou sítí vysokorychlostních tratí. K těmto 20 spojeníům bylo vybráno deset nejvíce vytížených přeshraničních spojení.

V studii porovnával ceny pro tři různé druhy cest. Obchodní cesta simulovala jednodenní cestu jednoho člověka na obchodní jednání. Cesta na víkend simulovala dvojici dospělých lidí jedoucích na víkend navštívit město. Poslední cesta na dovolenou simulovala cestu čtyřčlenné rodiny (dva dospělí a dvě děti) jedoucí na dvoutýdenní dovolenou. Pro porovnávání cen byla vybírána nejlevnější přímá spojení.

Z porovnání letecké a železniční, které je graficky vyobrazeno na obrázku 5.2, vyšel jasný vítěz, železniční doprava. Průměrně ve všech zahrnutých státech zaplatí cestující za cestu vlakem 117 € [44]. Oproti cestě letadlem tak ušetří 68 €, což činí 37% úsporu. Obrázek 5.3 ukazuje v jakém počtu případech byla cesta vlakem levnější než cesta letadlem. Dále jsou v něm vypsány finanční úspory pro jednotlivé druhy cest při cestě vlakem.



Obr. 5.2 Srovnání průměrných cen ve státech zahrnutých do studie [44].



*Average savings per passenger

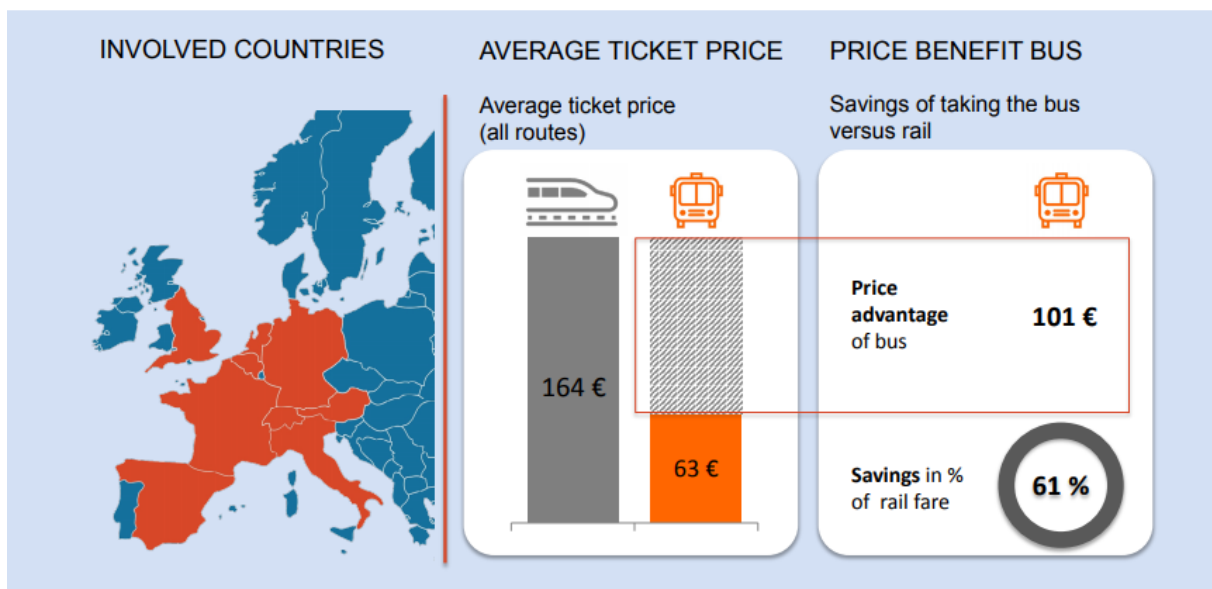
Obr. 5.3 Průměrná úspora na jízdě [44].

Největší konkurenci má letecká doprava ve Francii, kde v 96 % případů je cesta vlakem levnější a průměrná úspora na jízdě je 88 €. Dokonce v případech obchodních cest a cest na dovolenou byla železniční doprava levnější ve všech porovnávaných spojeních [44].

Nejmenší finanční úspora byla zjištěna v Itálii, kde průměrně za cestu vlakem bylo utraceno o 43 € méně než při cestě letadlem. Také zde v největším počtu spojení byla levnější letecká doprava, konkrétně v 28 případech ze 122 [44].

U mezinárodních cest bylo železniční spojení levnější v 78 % případů a průměrná finanční úspora byla 68 €. Bylo však zjištěno, že u některých cest byla výrazně levnější cesta letadlem, např. cesta mezi Paříží a Londýnem mohla při obchodní cestě ušetřit více než 100 € [44], pokud cestující letěl letadlem místo cesty vlakem. Největší cenový rozdíl byl však zjištěn na trase Paříž-Düsseldorf, kde letecká doprava byla levnější v 88 % případů, při cestě na víkend mohla ušetřit až 45 € a cestu zkrátit o 43 minut [44].

Na závěr bylo do studie zařazeno i porovnání železniční a autobusové dopravy pro čtyři přeshraniční spojení. Celkový výsledek ukazuje, že v 95 % případů je cesta autobusem levnější. Z obrázku 5.4 je patrné, že průměrná finanční úspora při cestě autobusem je 101 € oproti cestě vlakem, to činí cestu autobusem levnější o 61 % [44].



Obr. 5.4 Srovnání jízdného mezi vlakem a autobusem [44].

6 Snižování emisí v letecké dopravě

Dokument, kterým se letecký průmysl řídí z hlediska redukce skleníkových plynů, je Pařížská dohoda. Ačkoli není letectví v tomto dokumentu explicitně zmíněno, týká se jej také, protože dohoda vyzývá všechny státy, aby přijaly cíle ke snižování emisí v rámci celého hospodářství, tedy i letecké dopravy [43]. Byla schválena všemi 196 stranami na Konferenci OSN o změně klimatu v Paříži 12. prosince 2015 a v platnost vstoupila 4. listopadu 2016 [45].

Jejím cílem je limitovat globální oteplování, aby průměrná teplota nevzrostla o 2 °C, nejlépe o 1,5 °C, nad úroveň teploty před průmyslovou revolucí. Aby bylo možné docílit tohoto dlouhodobého cíle, jednotlivé státy se snaží redukovat emise skleníkových plynů, aby do poloviny století bylo dosaženo klimaticky neutrálního světa [45].

Rámcová úmluva Organizace spojených národů o změně klimatu (UNFCCC) má za cíl stabilizovat atmosférické koncentrace skleníkových plynů na takové úrovni, aby nedošlo k antropogennímu narušení klimatického systému [46]. Avšak emise z letectví z mezinárodních letů nebyly zahrnuty do mezinárodního klimatického režimu spravovaného touto úmluvou, protože tyto nespádají do působnosti národně stanovených klimatických opatření. Místo toho se těmito emisemi zabývala Mezinárodní organizace pro civilní letectví (ICAO) [47].

V říjnu 2016 přijaly členské státy Mezinárodní organizace pro civilní letectví historické rozhodnutí o přijetí globálního tržního opatření pro emise z letectví. Toto schéma kompenzace a snižování emisí uhlíku v mezinárodním letectví (známé více jako CORSIA) je vyvrcholením mnohaleté práce v ICAO s podporou tohoto odvětví [47; 43].

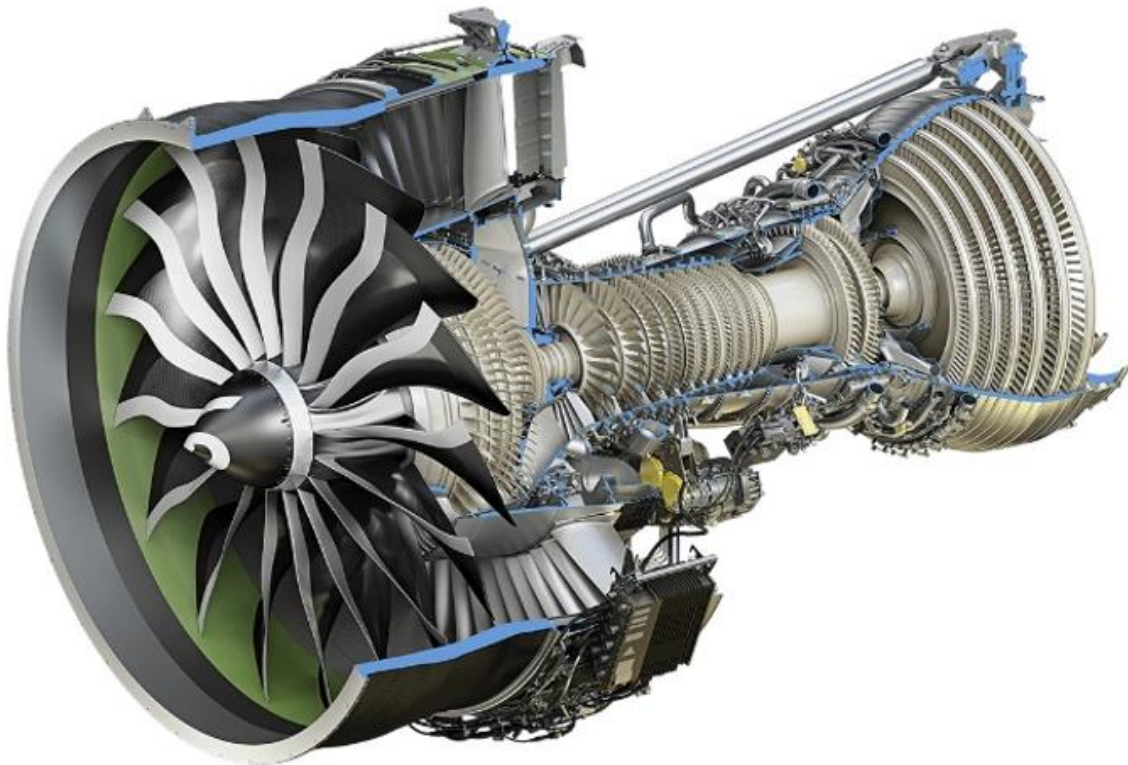
CORSIA je globální systém kompenzace, kdy letecké společnosti a další provozovatelé letadel kompenzují jakýkoli růst emisí CO₂ nad úroveň roku 2020 [47; 43]. To znamená, že čisté emise CO₂ z letectví budou stabilizovány, zatímco budou prováděna další opatření ke snižování emisí, jako je vývoj nových technologií, vývoj udržitelného leteckého paliva, zavádění efektivnějších postupů v provozu a vylepšení infrastruktury. Předpokládá se, že CORSIA zmírní mezi lety 2021 a 2035 přibližně 2,5 miliardy tun CO₂, což je roční průměr 164 milionů tun CO₂. Toto množství odpovídá celkovým ročním emisím CO₂ Nizozemska ve všech průmyslových odvětvích [47].

Aby bylo možné toto schéma zavést, byla CORSIA rozdělena do tří fází. Dvě počáteční fáze jsou dobrovolné (2021-2023 a 2024-2026) a třetí povinná fáze od roku 2027. Během počátečních fází se budou pravidla kompenzace aplikovat pouze na mezinárodní lety mezi státy, které se dobrovolně zapojily. V povinné fázi pravidla pokryjí všechny mezinárodní lety, avšak zde budou malé výjimky. Například se nebudou týkat států s malým podílem mezinárodní letecké dopravy [47].

Nejnovějšími projekty v rámci vývoje nových technologií v civilním letectví jsou projekty firem GE Aviation a Rolls Royce. Projekty obou společností se zabývají vývojem efektivnějších konvenčních turbodmychadlových proudových motorů [48].

GE Aviation vyvíjela motor s označením GE9X, který je zobrazen na obrázku 6.1, pro nový typ letounu výrobce Boeing, konkrétně se jedná o typ Boeing 777X, který je pokračovatelem úspěšné řady 777. Společnost si slibuje od tohoto motoru, že sníží spotřebu paliva o 10 % oproti jeho předchůdci GE90-115B, který pohání letouny Boeing 777-300ER. Dále předpokládá o 5 % lepší specifickou spotřebu paliva než kterýkoli dostupný motor pro širokotrupá letadla [49]. Navíc dosáhl přibližného obtokového poměru 10:1 a celkového tlakového poměru 60:1. Snížení

spotřeby paliva a emisí s tím spojených se podařilo díky několika klíčovými vylepšení. Jedním z nich je použití kompozitů s keramickou maticí ve spalovací komoře a vysokotlaké turbíně. Tyto kompozity jsou dvakrát pevnější, třikrát lehčí a mají lepší vlastnosti za vysokých teplot než jejich kovové protějšky. Na lopatky nízkotlaké turbíny byla použita slitina titanu a hliníku, tím došlo ke zvýšení pevnosti a zároveň snížení hmotnosti oproti součástem ze slitin niklu [49].



Obr. 6.1 Motor GE9X [50].

Rolls Royce si ve svém projektu Advanced Ultrafan stanovil za cíl snížit emise uhlíku na cestujícího a kilometr o 75 %. To odpovídá redukci jednoho litru spotřebovaného paliva na cestujícího a 100 km. Dalším cílem je snížení emisí oxidů dusíku o 90 %, to přispěje ke zlepšení kvality ovzduší hlavně okolo letišť. Posledním neméně důležitým cílem je snížení hluku motoru o 15 dB, to odpovídá 65% snížení [51].

Dalším způsobem, jak snížit emise v letectví, by mohlo být zavedení elektricky poháněných letadel. Toto však řešení není vhodné ani možné pro velká letadla, protože nedisponujeme vhodnou technologií pro uložení velkého množství elektrické energie a efektivního a rychlého dobíjení baterií.

Výrobce Airbus si tento problém uvědomil, a tak přišel s novým projektem zero-e. Airbus navrhl tři koncepty letadel poháněné vodíkem pro krátké a středně dlouhé tratě. Jeden turbovrtulový letoun, další turbodmychadlový letoun a letoun koncepce blended wing body (bwb) [52] zobrazený na obrázku 6.2. Jedná se o koncept letadla, který nemá jasnou dělicí čáru mezi křídly

a trupem, letoun má však rozlišitelné struktury křídel a trupu. Airbus plánuje uvést první bezemisní letadlo do provozu v roce 2035 [52].



Obr. 6.2 Koncept blended wing body [52].

Velkým problémem tohoto projektu je, jak uložit kapalný vodík a udržet jeho teplotu pod hodnotou teploty varu. Další potenciální problém by mohl vzniknout při zastoupení těchto letounů poháněných čistým vodíkem. Při spalování vodíku vzniká vodní pára, která posiluje skleníkový efekt více než oxid uhličitý nebo oxidy dusíku. Tedy mohlo by se stát, že za několik let budeme řešit emise vodní páry místo emisí oxidu uhličitého.

Závěr

Letecká doprava je druhým největším emitentem skleníkových plynů v dopravním sektoru. Oproti silniční dopravě, která ročně zodpovídá za 5,9 Gt CO₂eq [18] skleníkových plynů, letecká doprava emituje více než šestkrát méně emisí za rok, což odpovídá 1,9 % [18] celkových světových emisí. A přestože letecká doprava za sebou zanechává největší uhlíkovou stopu, není o mnoho vyšší než uhlíková stopa osobního automobilu při průměrném obsazení. Zajímavostí je, že osoba jedoucí osobním automobilem sama po sobě zanechá větší uhlíkovou stopu, než cestující průměrného letu v době před pandemií koronaviru SARS-CoV-2.

Nejvíce šetrná k životnímu prostředí je doprava železniční. Emituje poměrně malé množství skleníkových plynů na přepravenou jednotku a jednotku vzdálenosti. To je způsobeno tím, že velké množství zboží a osob je přepravováno po silnici díky flexibilitě silniční dopravy. A při přepravě po železnici, pokud je to možné, jsou výhradně použity elektrické vlaky, jejichž emise závisejí na emisích z výroby, respektive spotřeby elektrické energie.

Lodní doprava je efektivní pro přepravu velkého množství zboží. Uhlíková intenzita je nejnižší z celého dopravního sektoru. Celkové množství emisí je způsobeno velkou poptávkou po přepravě levného zboží vyrobeného například v Číně a jihovýchodní Asii.

Nebezpečí letecké a lodní dopravy nespočívá v množství emitovaných emisí. Dohromady ročně emitují 1,78 Gt CO₂eq [18], což odpovídá 6,3 % skleníkových plynů, které do atmosféry uniknou z přirozených zdrojů. Nebezpečí spočívá v jejich obrovském potenciálu rozvoje. V případě letecké dopravy při úvaze výrazného růstu letecké dopravy bez dalších opatření na snižování emisí by v roce 2040 emise letecké dopravy mohly být více než dvojnásobné oproti roku 2019. To společně s ničením krajiny a kácením lesů, nejen tropických deštných, ovlivní koncentrace skleníkových plynů v atmosféře. Zvyšováním koncentrace dojde k posílení skleníkového efektu a tím i nárůstu průměrné teploty, zvýšení hladiny oceánů, vymírání dalších organismů a jiné. Ekosystém naší planety je velmi složitý a jeho stabilita je křehká, proto není radno si s ním zahrávat.

Ačkoli je letecká doprava v Evropské unii dotovaná nemalými částkami a zvýhodňovaná na daních, je cesta letadlem v Evropské unii ve více než čtyřech pětinach případů dražší než cesta vlakem. Přitom je vlaková přeshraniční doprava na rozdíl od letecké dopravy v některých zemích zatížena poměrně vysokou daní z přidané hodnoty. I přesto, že je letecká doprava dražší než železniční, ceny jsou dostatečně nízké, aby byla letecká doprava dostupná pro velké množství lidí. Další výhodou letecké dopravy je její rychlost. Tato výhoda však bývá v oblastech s rozvinutou sítí vysokorychlostní železnice na krátkých trasách překonána železnicí.

Dle Pařížské dohody se letectví týká snižování emisí stejně jako kteréhokoli jiného průmyslu. Snižováním emisí letecké dopravy se dále zabývají Rámcová úmluva Organizace spojených národů o změně klimatu a Schéma kompenzace a snižování emisí uhlíku v mezinárodním letectví. Tyto dohody nutí letecký průmysl vyvíjet nové, úspornější technologie, například vývoj nových lehčích konstrukčních materiálů, vývoj nových leteckých motorů, které sníží celkovou spotřebu paliva. Dále nabádají k tvorbě nových postupů v dopravě a rozvoji infrastruktury, tak aby se lépe využívalo palivo.

Jak lze dále snižovat emise v letectví? Nepřímo snížit emise by se mohlo podařit ukončením daňového zvýhodňování letectví v Evropské unii. Dále by se mohly zavést nějaké poplatky, jejichž výše by odrážela dopad letecké dopravy na životní prostředí. Narostla by cena letenek,

která by odrážela nejen zmiňovaný environmentální dopad, ale i skutečné náklady na let. A snížila by se tak poptávka po letecké dopravě.

A jak můžeme snížit emise my jednotlivci? Stačilo by se před každou cestou zamyslet: „Potřebuji dneska nutně autem do práce?“, nebo: „Nestačilo by jet vlakem?“

Seznam použitých zdrojů

- [1] MASSON-DELMOTTE, Valerie. *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*. World Meteorological Organization. Geneva, 2018, 32 s.
- [2] Global Warming. *NASA Earth Observatory* [online]. NASA [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: <https://earthobservatory.nasa.gov/features/GlobalWarming/page2.php>
- [3] Ten Clear Indicators of Climate Change. *The Climate Reality Project* [online]. Washington DC: The Climate Reality Project, 2006 [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: <https://www.climateRealityproject.org/blog/10-indicators-that-show-climate-change>
- [4] Mapa změny teploty mezi lety 1961–2019. In: *Fakta o klimatu* [online]. Brno: Ověřená data o klimatu, z. ú., 2021 [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/mapa-zmeny-teploty>
- [5] NASA | A Year in the Life of Earth's CO2. *Youtube* [online]. San Mateo: Google LLC, 2005 [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=x1SgmFa0r04&ab_channel=NASAGoddard
- [6] Vývoj světové teplotní anomálie. In: *Fakta o klimatu* [online]. Brno: Ověřená data o klimatu, z. ú., 2021 [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/teplotni-anomalie>
- [7] Průměrná roční teplota v ČR. In: *Fakta o klimatu* [online]. Brno: Ověřená data o klimatu, z. ú., 2021 [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/teplota-cr>
- [8] PACHAURI, Rajendra K. *IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC. Geneva, 2014, 151 s.
- [9] Energy and the environment explained: Greenhouse gases. In: *U. S. Energy Information Administration: Independent Statistics Analysis* [online]. Washington DC: U.S. Energy Information Administration, 1977 [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: <https://www.eia.gov/energyexplained/energy-and-the-environment/greenhouse-gases.php>
- [10] The Greenhouse Effect and our Planet. In: *National Geographic* [online]. Washington DC: National Geographic Society, 2021 [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: <https://www.nationalgeographic.org/article/greenhouse-effect-our-planet/>

- [11] HRŮZOVÁ, Kateřina. *Emise skleníkových plynů v průmyslu* [online]. Ostrava, 2010 [cit. 2021-03-02]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/82016/HRU206_FMMI_B2109_3904R0_20_2010.pdf?sequence=1. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Ing. Dalibor Jančar, Ph. D.
- [12] Water Vapor. *NASA: The Earth Observatory* [online]. NASA [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: https://earthobservatory.nasa.gov/global-maps/MYDAL2_M_SKY_WV
- [13] DOHNAL, Jan. *Měření koncentrací skleníkových plynů*. Brno, 2017. Diplomová práce. Vysoké učení technické, fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Doc. Ing. Petr Bača, Ph. D.
- [14] Vývoj koncentrace CO₂ v atmosféře. In: *Fakta o klimatu* [online]. Brno: Ověřená data o klimatu, z. ú., 2021 [cit. 2021-02-23]. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/koncentrace-co2>
- [15] Greenhouse Gas Emissions: Overview of Greenhouse Gases. *United States Environmental Protection Agency* [online]. Washington DC: United States government, 2021 [cit. 2021-03-02]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>
- [16] JINDŘICH, Petrlík. Chlorofluorouhlovodíky (CFC). In: *Arnika* [online]. Praha: Arnika, 2014 [cit. 2021-02-23]. Dostupné z: <https://arnika.org/chlorofluorouhlovodiky-cfc>
- [17] YUE, Xi-Liu a Qing-Xian GAO. Contributions of natural systems and human activity to greenhouse gas emissions. *Advances in Climate Change Research* [online]. 2018, 9(4), 243-252 [cit. 2021-03-16]. ISSN 1674-9278. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674927818300376>
- [18] RITCHIE, Hannah a Max ROSER. Emissions by sector. *Our World in Data* [online]. Oxford: Global Change Data Lab [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector>
- [19] Greenhouse Gas Emissions: Global Greenhouse Gas Emissions Data. *United States Environmental Protection Agency* [online]. Washington DC: United States government, 2021 [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data>
- [20] Emise skleníkových plynů v ČR podle sektorů detailně. In: *Fakta o klimatu* [online]. Brno: Ověřená data o klimatu, z. ú., 2021 [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/emise-cr-detail>
- [21] RITCHIE, Hannah. Cars, planes, trains: where do CO₂ emissions from transport come from?. In: *Our World in Data* [online]. Oxford: Global Change Data Lab [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: <https://ourworldindata.org/co2-emissions-from-transport>

- [22] BARKER, Terry. *Technical summary In: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, New York, 2007, 70 s. Dostupné také z: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg3-ts-1.pdf>
- [23] KNÖRR, Wolfram a Reinhard HÜTTERMANN. *EcoPassenger: Environmental Methodology and Data Update 2016*. Heidelberg/Hannover: Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, 2016.
- [24] How to calculate the CO2 emission from the fuel consumption?. *Ecoscore* [online]. 2021 [cit. 2021-04-11]. Dostupné z: <https://ecoscore.be/en/info/ecoscore/co2>
- [25] Energy efficiency and specific CO2 emissions. In: *European Environment Agency* [online]. Copenhagen, 2021 [cit. 2021-05-04]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/energy-efficiency-and-specific-co2-emissions/energy-efficiency-and-specific-co2-9>
- [26] *Is Low-Carbon Road Freight Possible*. 2018. Dostupné také z: <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/cop24-road-freight.pdf>
- [27] SIMS, Ralph a Roberto SCHAEFFER. *Transport In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change, Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, New York, 2014. Dostupné také z: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_chapter8.pdf
- [28] IEA-UIC Energy and CO2 Railway Handbook 2012: Energy Consumption and CO2 Emissions. In: *UIC - International Union of Railways: The Worldwide Railway Organisation* [online]. Paris, 2021 [cit. 2021-05-05]. Dostupné z: https://uic.org/IMG/pdf/2012_uic-iea_railway_handbook_web_high.pdf
- [29] ElectricityMap. *ElectricityMap* [online]. Copenhagen: Tomorrow, 2021 [cit. 2021-04-11]. Dostupné z: <https://www.electricitymap.org/map>
- [30] Hodnota emisního faktoru CO2 z výroby elektřiny za léta 2010–2019. *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. Praha [cit. 2021-05-04]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/cz/energetika/statistika/elektrina-a-teplo/hodnota-emisniho-faktoru-co2-z-vyroby-elektriny-za-leta-2010_2019--258830/
- [31] IEA-UIC Energy and CO2 Railway Handbook 2015: Energy Consumption and CO2 Emissions. In: *UIC - International Union of Railways: The Worldwide Railway Organisation* [online]. Paris, 2021 [cit. 2021-05-05]. Dostupné z: https://uic.org/IMG/pdf/iea-uic_2015-2.pdf
- [32] IEA-UIC Energy and CO2 Railway Handbook 2017: Energy Consumption and CO2 Emissions. In: *UIC - International Union of Railways: The Worldwide Railway Organisation* [online]. Paris, 2021 [cit. 2021-05-05]. Dostupné z: https://uic.org/IMG/pdf/handbook_iea-uic_2017_web3.pdf

- [33] Third IMO GHG Study 2014. In: *International Maritime organization* [online]. London, 2019 [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Greenhouse-Gas-Studies-2014.aspx>
- [34] Reducing emissions from the shipping sector. In: *European Commission* [online]. Brusel, 2021 [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/shipping_en
- [35] Greenhouse gas emissions in shipping. In: *SHELL* [online]. Hague, 2021 [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: <https://www.shell.com/energy-and-innovation/the-energy-future/greenhouse-gas-emissions-in-shipping.html>
- [36] Shipping and climate change. In: *Transport and Environment* [online]. Brusel: European Federation for Transport and Environment, 2021 [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: <https://www.transportenvironment.org/what-we-do/shipping-and-environment/shipping-and-climate-change>
- [37] Reducing emissions from aviation. In: *European Commission* [online]. Brusel, 2021 [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/aviation_en
- [38] *European Aviation Environmental Report 2019*. EASA, EEA, EUROCONTROL. 2019. ISBN: 978-92-9210-214-2, DOI: 10.2822/309946. Dostupné také z: <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/2019-aviation-environmental-report.pdf>
- [39] GRAVER, Brandon, Dan RUTHERFORD a Sola ZHENG. *CO2 Emissions from Commercial Aviation*. The International Council on Clean Transportation. Washington DC, 2020. Dostupné také z: <https://theicct.org/sites/default/files/publications/CO2-commercial-aviation-oct2020.pdf>
- [40] Aviation: Tracking Report. In: *International Energy Agency* [online]. Paris: IEA, 2021 [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: <https://www.iea.org/reports/aviation>
- [41] EUROCONTROL Data Snapshot on CO₂ emissions from flights in 2020. In: *Eurocontrol* [online]. Brusel, 2021 [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/publication/eurocontrol-data-snapshot-co2-emissions-flights-2020>
- [42] Air Cargo on the Lower Deck – Lower Carbon Emissions Than You Think. In: *Freightos: Online Freight Shipping Marketplace and Platform* [online]. Hong Kong, 2021 [cit. 2021-05-14]. Dostupné z: <https://www.freightos.com/air-cargo-co2/>
- [43] How to reduce airline emissions. *Transport and Environment* [online]. Brusel: European Federation for Transport and Environment, 2021 [cit. 2021-05-14]. Dostupné z: <https://www.transportenvironment.org/what-we-do/aviation-and-eu-ets>

- [44] SAUTER-SERVAES, Thomas. *European Air-Rail-Bus Price Comparison*. Zurich, 2015. Dostupné také z: https://www.researchgate.net/publication/286933552_European_Air-Rail-Bus_Price_Comparison_Final_Report
- [45] The Paris Agreement. *United Nations Climate Change* [online]. Bonn: United Nations Framework Convention on Climate Change, 2021 [cit. 2021-05-15]. Dostupné z: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>
- [46] Rámcová úmluva OSN o změně klimatu. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, © 2008-2020 [cit. 2021-05-15]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/ramcova_umluva_osn_zmena_klimatu
- [47] CORSIA explained. *Aviation Benefits Beyond Borders* [online]. Geneva: Air Transport Action Group, 2021 [cit. 2021-05-14]. Dostupné z: <https://aviationbenefits.org/environmental-efficiency/climate-action/offsetting-emissions-corsia/corsia/corsia-explained/>
- [48] In-sector aviation CO2 emissions reduction initiatives - Tracker tool: Technology. *International Civil Aviation Organization* [online]. Québec: ICAO, 2021 [cit. 2021-05-14]. Dostupné z: <https://www.icao.int/environmental-protection/SAC/Pages/Technology.aspx>
- [49] GE9X Commercial Aircraft Engine: The world's next great engine. *GE Aviation* [online]. Evendale: General Electrics, 2021 [cit. 2021-05-15]. Dostupné z: <https://www.geaviation.com/commercial/engines/ge9x-commercial-aircraft-engine>
- [50] GE Aviation Completes Initial Ground Testing of GE9X Engine. In: *Aviation Voice* [online]. 2021 [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: <https://aviationvoice.com/ge-aviation-completes-initial-ground-testing-of-ge9x-engine-2-201610201225/>
- [51] Future of flight. *Rolls Royce* [online]. London: Rolls Royce, 2021 [cit. 2021-05-15]. Dostupné z: <https://www.rolls-royce.com/media/our-stories/innovation/2016/advance-and-ultrafan.aspx#overview>
- [52] Airbus reveals new zero-emission concept aircraft. *Airbus* [online]. Toulouse: Airbus, 2021 [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: <https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2020/09/airbus-reveals-new-zeroemission-concept-aircraft.html>

Použité zkratky a symboly

| | |
|--------------------|--|
| bwb | Z angl. „blended wing body“, koncept letadla, který nemá jasnou dělicí čáru mezi křídly a trupem. |
| CFC | Z angl. „Chloroflourocarbon“, chlor-fluorované uhlovodíky, známé také jako freony. |
| CH ₄ | Chemický vzorec metanu. |
| CO ₂ | Chemický vzorec oxidu uhličitého. |
| CO ₂ eq | Ekvivalent CO ₂ , udává, jaké množství oxidu uhličitého způsobí stejnou úroveň radiačního záření jako daný typ a koncentrace jiného skleníkového plynu. |
| € | Euro, oficiální měna 19 z 27 zemí Evropské unie. |
| NO _x | Chemický vzorec pro oxidy dusíku. |
| N ₂ O | Chemický vzorec oxidu dusného. |
| O ₃ | Chemický vzorec ozonu. |

Přílohy

A-1 Uhlíková intenzita vybraných států

| uhlíková intenzita [gCO ₂ eq/kWh] | | stát | | | | | | | |
|--|-------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| den | čas | AT | CZ | DE | ES | FR | PL | SE | SK |
| 24.03.2021 | 0:00 | 227 | 438 | 409 | 166 | 78 | 668 | 38 | 270 |
| | 1:00 | 227 | 438 | 396 | 163 | 80 | 689 | 38 | 263 |
| | 2:00 | 228 | 436 | 392 | 163 | 78 | 690 | 38 | 262 |
| | 3:00 | 231 | 442 | 388 | 164 | 76 | 694 | 38 | 266 |
| | 4:00 | 242 | 447 | 387 | 168 | 75 | 687 | 37 | 282 |
| | 5:00 | 254 | 450 | 405 | 175 | 80 | 681 | 38 | 293 |
| | 6:00 | 252 | 459 | 417 | 203 | 82 | 680 | 38 | 276 |
| | 7:00 | 228 | 439 | 405 | 203 | 86 | 682 | 38 | 263 |
| | 8:00 | 228 | 436 | 379 | 192 | 87 | 673 | 39 | 248 |
| | 9:00 | 212 | 434 | 350 | 172 | 85 | 668 | 40 | 244 |
| | 10:00 | 212 | 434 | 304 | 172 | 79 | 669 | 40 | 243 |
| | 11:00 | 229 | 422 | 268 | 155 | 69 | 648 | 40 | 248 |
| | 12:00 | 226 | 415 | 251 | 152 | 70 | 647 | 40 | 254 |
| | 13:00 | 225 | 407 | 248 | 153 | 69 | 649 | 40 | 259 |
| | 14:00 | 232 | 412 | 252 | 143 | 66 | 649 | 39 | 267 |
| | 15:00 | 239 | 421 | 271 | 139 | 61 | 659 | 39 | 269 |
| | 16:00 | 249 | 424 | 319 | 143 | 61 | 671 | 39 | 273 |
| | 17:00 | 258 | 439 | 384 | 162 | 61 | 684 | 39 | 269 |
| | 18:00 | 243 | 442 | 422 | 182 | 69 | 697 | 39 | 292 |
| | 19:00 | 215 | 441 | 425 | 195 | 69 | 702 | 39 | 290 |
| 20:00 | 215 | 445 | 426 | 184 | 70 | 697 | 39 | 295 | |
| 21:00 | 265 | 440 | 428 | 184 | 68 | 685 | 39 | 276 | |
| 22:00 | 282 | 442 | 433 | 183 | 70 | 677 | 41 | 275 | |
| 23:00 | 297 | 444 | 434 | 175 | 76 | 667 | 41 | 293 | |
| 25.03.2021 | 0:00 | 304 | 449 | 429 | 157 | 84 | 666 | 42 | 312 |
| | 1:00 | 315 | 451 | 438 | 156 | 81 | 675 | 39 | 309 |
| | 2:00 | 317 | 453 | 445 | 157 | 84 | 675 | 40 | 312 |
| | 3:00 | 319 | 448 | 452 | 154 | 75 | 671 | 41 | 304 |
| | 4:00 | 330 | 458 | 460 | 155 | 72 | 668 | 40 | 305 |
| | 5:00 | 330 | 462 | 469 | 159 | 72 | 670 | 40 | 313 |
| | 6:00 | 300 | 458 | 470 | 189 | 69 | 675 | 40 | 293 |
| | 7:00 | 260 | 440 | 442 | 187 | 76 | 680 | 41 | 289 |
| | 8:00 | 252 | 418 | 407 | 172 | 82 | 683 | 41 | 266 |
| | 9:00 | 256 | 398 | 372 | 169 | 81 | 655 | 42 | 246 |
| | 10:00 | 248 | 381 | 334 | 156 | 81 | 635 | 43 | 238 |
| | 11:00 | 238 | 374 | 308 | 150 | 77 | 627 | 43 | 239 |
| | 12:00 | 235 | 376 | 293 | 148 | 76 | 628 | 42 | 230 |
| | 13:00 | 238 | 373 | 295 | 145 | 73 | 629 | 42 | 224 |
| | 14:00 | 244 | 382 | 310 | 143 | 67 | 641 | 42 | 232 |
| 15:00 | 256 | 398 | 332 | 142 | 64 | 666 | 42 | 238 | |

| | | | | | | | | | |
|-------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 16:00 | 275 | 410 | 375 | 146 | 66 | 684 | 42 | 246 |
| | 17:00 | 262 | 437 | 410 | 159 | 66 | 698 | 42 | 267 |
| | 18:00 | 249 | 445 | 438 | 187 | 70 | 704 | 42 | 295 |
| | 19:00 | 227 | 444 | 436 | 196 | 70 | 704 | 41 | 295 |
| | 20:00 | 249 | 445 | 435 | 187 | 71 | 697 | 41 | 294 |
| | 21:00 | 280 | 441 | 433 | 188 | 70 | 692 | 42 | 278 |
| | 22:00 | 294 | 444 | 435 | 191 | 73 | 683 | 43 | 296 |
| | 23:00 | 302 | 435 | 420 | 182 | 71 | 672 | 42 | 294 |
| 26.03.2021 | 0:00 | 297 | 436 | 390 | 157 | 67 | 667 | 42 | 312 |
| | 1:00 | 291 | 434 | 362 | 149 | 57 | 676 | 41 | 316 |
| | 2:00 | 289 | 443 | 350 | 155 | 57 | 662 | 41 | 320 |
| | 3:00 | 288 | 441 | 341 | 158 | 56 | 660 | 41 | 316 |
| | 4:00 | 286 | 434 | 335 | 158 | 57 | 658 | 42 | 311 |
| | 5:00 | 286 | 435 | 340 | 162 | 58 | 669 | 42 | 321 |
| | 6:00 | 263 | 438 | 349 | 171 | 58 | 669 | 42 | 299 |
| | 7:00 | 245 | 432 | 342 | 171 | 57 | 672 | 43 | 293 |
| | 8:00 | 234 | 421 | 323 | 160 | 59 | 664 | 44 | 282 |
| | 9:00 | 233 | 406 | 298 | 151 | 59 | 650 | 44 | 264 |
| | 10:00 | 221 | 391 | 236 | 140 | 56 | 631 | 43 | 264 |
| | 11:00 | 212 | 388 | 195 | 136 | 53 | 619 | 44 | 263 |
| | 12:00 | 210 | 394 | 178 | 138 | 51 | 620 | 43 | 256 |
| | 13:00 | 208 | 395 | 179 | 140 | 49 | 624 | 42 | 258 |
| | 14:00 | 212 | 396 | 191 | 146 | 50 | 635 | 41 | 272 |
| | 15:00 | 217 | 405 | 211 | 148 | 51 | 655 | 40 | 281 |
| | 16:00 | 223 | 423 | 242 | 145 | 51 | 668 | 40 | 292 |
| | 17:00 | 220 | 440 | 292 | 152 | 51 | 678 | 43 | 287 |
| | 18:00 | 208 | 448 | 328 | 159 | 53 | 686 | 41 | 305 |
| | 19:00 | 178 | 456 | 326 | 156 | 54 | 667 | 39 | 298 |
| | 20:00 | 190 | 476 | 319 | 136 | 52 | 642 | 38 | 304 |
| | 21:00 | 201 | 488 | 303 | 134 | 53 | 619 | 37 | 303 |
| | 22:00 | 205 | 488 | 283 | 138 | 54 | 594 | 37 | 312 |
| 23:00 | 203 | 472 | 267 | 128 | 53 | 584 | 37 | 307 | |
| 27.03.2021 | 0:00 | 184 | 439 | 230 | 130 | 54 | 557 | 36 | 299 |
| | 1:00 | 169 | 433 | 200 | 126 | 43 | 554 | 36 | 309 |
| | 2:00 | 175 | 424 | 182 | 131 | 40 | 548 | 36 | 321 |
| | 3:00 | 170 | 406 | 168 | 129 | 40 | 557 | 36 | 323 |
| | 4:00 | 172 | 398 | 159 | 130 | 42 | 549 | 36 | 323 |
| | 5:00 | 174 | 400 | 144 | 129 | 43 | 539 | 36 | 325 |
| | 6:00 | 173 | 409 | 142 | 130 | 43 | 538 | 37 | 320 |
| | 7:00 | 191 | 411 | 139 | 130 | 43 | 548 | 38 | 306 |
| | 8:00 | 205 | 425 | 132 | 129 | 44 | 548 | 39 | 288 |
| | 9:00 | 192 | 388 | 124 | 118 | 44 | 534 | 48 | 278 |
| | 10:00 | 180 | 380 | 118 | 119 | 44 | 505 | 51 | 270 |
| | 11:00 | 185 | 385 | 116 | 121 | 44 | 497 | 52 | 266 |
| 12:00 | 174 | 369 | 119 | 123 | 42 | 492 | 55 | 269 | |

| | | | | | | | | | |
|-------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 13:00 | 155 | 374 | 121 | 118 | 44 | 491 | 56 | 277 |
| | 14:00 | 126 | 377 | 121 | 118 | 44 | 506 | 55 | 285 |
| | 15:00 | 119 | 379 | 124 | 119 | 44 | 518 | 54 | 292 |
| | 16:00 | 128 | 389 | 135 | 121 | 44 | 533 | 44 | 299 |
| | 17:00 | 148 | 412 | 178 | 133 | 43 | 560 | 38 | 293 |
| | 18:00 | 164 | 429 | 222 | 142 | 44 | 591 | 38 | 301 |
| | 19:00 | 155 | 447 | 234 | 143 | 53 | 609 | 38 | 298 |
| | 20:00 | 166 | 450 | 236 | 132 | 58 | 589 | 39 | 312 |
| | 21:00 | 186 | 450 | 234 | 133 | 57 | 590 | 40 | 309 |
| | 22:00 | 189 | 451 | 230 | 132 | 61 | 576 | 39 | 308 |
| | 23:00 | 195 | 444 | 224 | 136 | 60 | 552 | 41 | 303 |
| 28.03.2021 | 0:00 | 184 | 431 | 214 | 142 | 58 | 549 | 42 | 303 |
| | 1:00 | 169 | 430 | 200 | 143 | 53 | 577 | 42 | 319 |
| | 2:00 | | | | | | | | |
| | 3:00 | 154 | 419 | 196 | 152 | 52 | 580 | 47 | 319 |
| | 4:00 | 142 | 416 | 194 | 151 | 50 | 572 | 44 | 317 |
| | 5:00 | 152 | 417 | 184 | 156 | 50 | 574 | 41 | 319 |
| | 6:00 | 163 | 413 | 182 | 159 | 56 | 579 | 41 | 318 |
| | 7:00 | 166 | 397 | 181 | 170 | 56 | 580 | 41 | 310 |
| | 8:00 | 163 | 367 | 169 | 161 | 54 | 581 | 39 | 294 |
| | 9:00 | 158 | 352 | 160 | 145 | 55 | 568 | 40 | 285 |
| | 10:00 | 157 | 338 | 148 | 134 | 56 | 564 | 41 | 278 |
| | 11:00 | 161 | 332 | 132 | 128 | 54 | 549 | 51 | 280 |
| | 12:00 | 156 | 328 | 127 | 120 | 54 | 532 | 57 | 273 |
| | 13:00 | 149 | 350 | 127 | 117 | 60 | 516 | 56 | 267 |
| | 14:00 | 136 | 341 | 130 | 115 | 63 | 517 | 55 | 271 |
| | 15:00 | 138 | 341 | 133 | 110 | 61 | 526 | 55 | 276 |
| | 16:00 | 146 | 348 | 133 | 112 | 61 | 547 | 55 | 296 |
| | 17:00 | 153 | 358 | 140 | 118 | 57 | 572 | 50 | 289 |
| | 18:00 | 183 | 392 | 158 | 128 | 51 | 599 | 46 | 294 |
| | 19:00 | 201 | 407 | 211 | 133 | 53 | 620 | 39 | 301 |
| | 20:00 | 210 | 397 | 227 | 128 | 53 | 599 | 38 | 292 |
| | 21:00 | 215 | 412 | 222 | 114 | 52 | 590 | 37 | 295 |
| | 22:00 | 219 | 407 | 220 | 118 | 52 | 571 | 37 | 278 |
| 23:00 | 220 | 406 | 209 | 119 | 52 | 557 | 38 | 279 | |
| 29.03.2021 | 0:00 | 220 | 416 | 195 | 127 | 52 | 559 | 38 | 299 |
| | 1:00 | 195 | 410 | 186 | 130 | 54 | 557 | 38 | 298 |
| | 2:00 | 194 | 412 | 182 | 131 | 55 | 559 | 39 | 299 |
| | 3:00 | 196 | 419 | 183 | 134 | 57 | 565 | 40 | 305 |
| | 4:00 | 206 | 424 | 191 | 136 | 57 | 568 | 40 | 314 |
| | 5:00 | 230 | 444 | 203 | 130 | 59 | 589 | 39 | 320 |
| | 6:00 | 242 | 449 | 219 | 141 | 61 | 599 | 39 | 307 |
| | 7:00 | 240 | 461 | 232 | 131 | 63 | 611 | 39 | 305 |
| | 8:00 | 229 | 455 | 231 | 121 | 67 | 612 | 39 | 278 |
| | 9:00 | 235 | 437 | 214 | 118 | 69 | 620 | 39 | 286 |

| | | | | | | | | | |
|-------------------|---------------|------------|------------|------------|------------|-----------|------------|-----------|------------|
| | 10:00 | 223 | 421 | 192 | 117 | 68 | 611 | 39 | 278 |
| | 11:00 | 208 | 407 | 171 | 116 | 66 | 597 | 39 | 260 |
| | 12:00 | 197 | 395 | 150 | 122 | 62 | 584 | 41 | 258 |
| | 13:00 | 190 | 383 | 142 | 114 | 57 | 582 | 43 | 258 |
| | 14:00 | 187 | 387 | 141 | 110 | 57 | 587 | 49 | 254 |
| | 15:00 | 193 | 394 | 151 | 112 | 57 | 609 | 48 | 261 |
| | 16:00 | 200 | 398 | 152 | 110 | 57 | 619 | 43 | 286 |
| | 17:00 | 211 | 409 | 192 | 109 | 58 | 631 | 37 | 275 |
| | 18:00 | 227 | 421 | 246 | 108 | 56 | 642 | 36 | 266 |
| | 19:00 | 210 | 420 | 288 | 121 | 57 | 649 | 36 | 273 |
| | 20:00 | 200 | 428 | 301 | 124 | 61 | 636 | 35 | 278 |
| | 21:00 | 224 | 429 | 298 | 124 | 60 | 620 | 35 | 285 |
| | 22:00 | 236 | 428 | 296 | 121 | 59 | 615 | 35 | 316 |
| | 23:00 | 238 | 426 | 299 | 130 | 58 | 603 | 35 | 318 |
| 30.03.2021 | 0:00 | 236 | 410 | 293 | 127 | 60 | 599 | 35 | 304 |
| | 1:00 | 209 | 415 | 293 | 131 | 58 | 605 | 35 | 298 |
| | 2:00 | 204 | 427 | 291 | 132 | 56 | 617 | 35 | 299 |
| | 3:00 | 197 | 431 | 287 | 132 | 59 | 618 | 34 | 290 |
| | 4:00 | 198 | 426 | 292 | 127 | 58 | 616 | 34 | 280 |
| | 5:00 | 208 | 434 | 314 | 127 | 64 | 620 | 35 | 268 |
| | 6:00 | 212 | 460 | 336 | 132 | 71 | 642 | 35 | 275 |
| | 7:00 | 198 | 455 | 343 | 136 | 75 | 657 | 36 | 302 |
| | 8:00 | 183 | 442 | 332 | 136 | 73 | 661 | 36 | 271 |
| | 9:00 | 201 | 414 | 308 | 134 | 72 | 644 | 36 | 241 |
| | 10:00 | 207 | 392 | 284 | 122 | 78 | 633 | 36 | 230 |
| | 11:00 | 206 | 373 | 258 | 112 | 72 | 615 | 36 | 229 |
| | 12:00 | 201 | 364 | 237 | 107 | 63 | 603 | 36 | 229 |
| | 13:00 | 190 | 353 | 219 | 105 | 63 | 595 | 35 | 222 |
| | 14:00 | 180 | 356 | 218 | 107 | 60 | 593 | 35 | 225 |
| | 15:00 | 178 | 369 | 231 | 112 | 58 | 594 | 36 | 233 |
| | 16:00 | 189 | 389 | 243 | 114 | 56 | 591 | 36 | 245 |
| | 17:00 | 209 | 418 | 289 | 121 | 60 | 609 | 36 | 255 |
| | 18:00 | 208 | 448 | 332 | 126 | 63 | 651 | 36 | 275 |
| | 19:00 | 196 | 452 | 382 | 131 | 64 | 666 | 36 | 281 |
| | 20:00 | 191 | 468 | 393 | 133 | 72 | 660 | 36 | 294 |
| | 21:00 | 205 | 473 | 402 | 132 | 70 | 651 | 36 | 292 |
| | 22:00 | 204 | 480 | 411 | 131 | 71 | 653 | 36 | 282 |
| 23:00 | 222 | 481 | 409 | 137 | 69 | 644 | 37 | 300 | |
| týden | průměr | 214 | 418 | 274 | 142 | 61 | 619 | 41 | 284 |