

Konkurenceschopnost VRT a letecké dopravy ve střední Evropě: hodnocení časové dostupnosti a emisní zátěže dopravních tahů z Prahy

Telč 2025

Miroslav Marada, Martin Šauer, Michal Kowalski

Úvod

- VRT jsou obecně považovány za nástroj redukce uhlíkové stopy v cestování na střední vzdálenosti
- Hlavní modální konkurence s leteckou a automobilovou dopravou
- Přitom zásadními faktory volby dopravního módu jsou cestovní čas, cena přepravy, široce definovaný komfort a nově i environmentální postoje (viz švédský pojem „flygskam“ = stud z létání)
- Zde komparace ze tří hledisek:
 - Úspora cestovního času
 - Ceny jízdenek/letenek
 - Vytvořená uhlíková stopa



Konkurenceschopnost letadlo x VRT: vzdálenost a čas

- Sun, X. (2017) ve své metastudii uvádí jako zlomovou hranici cca **3 hodiny cestovního času mezi centry** (~400–700 km vzdálenost)
- Některé studie uvádějí i vyšší spodní hranice, např. 600 km (Delgado, L. et al., 2022)
- Za minimum považuje Rodrigue (2024) 150 km
- Za horní hranici konkurenceschopnosti se považuje prakticky shodně 1000 km (např. Deutschel, J. L. (2022).
- **Shoda:** Podstatnější než „hrubá vzdálenost“ je **cestovní čas door-to-door** a samozřejmě **komfort**
- Hodnoty vzdálenosti a času se proto liší podle regionu a specifik trasy (kvalita infrastruktury, dostupnost letiště/nádraží, úroveň poptávky apod.).

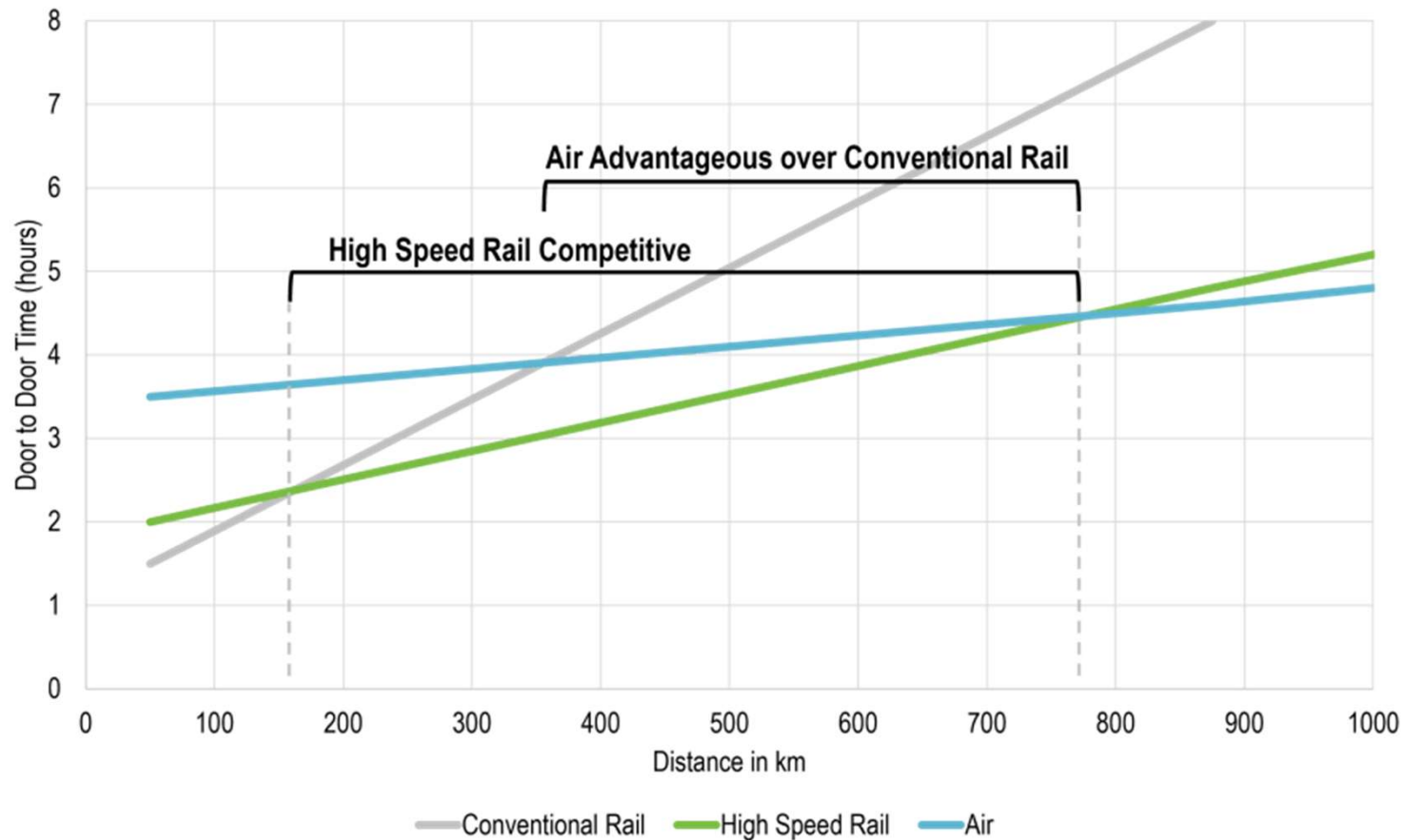
Konkurenceschopnost letadlo x VRT: vzdálenost a čas

Věk cestujících +4 -1
% zastoupení mužů mezi potenciálními cestujícími +2 -1
% z zastoupení svobodných lidí mezi potenciálními cestujícími -1
Počet spolecestujících +1 -1
Schopnost cestujících využívat digitální technologie k nákupu jízdenek -1
% zastoupení frekventovaných cestujících -2
Existence věrnostních programů leteckých společností -1
% zastoupení business cestujících oproti leisure cestujícím +1 -2
Finanční příjem cestujících +1 -2
% zastoupení cestujících pracujících v enterprises -1
Cena jízdního dokladu na vysokorychlostní železnici -11
Míra zdanění tuny CO2 +1
Rychlost vysokorychlostní železnice +2
Vzdálenost mezi výchozí a cílovou destinací -2
Čas cesty vysokorychlostní železnici -13
Čas potřebný k dopravě z výchozího bodu cesty na výchozí železniční stanici -8
Čas potřebný k dopravě z cílové železniční stanice do cílového bodu cesty -2
Míra zpoždění vysokorychlostní železnice -5
Předčasný příjezd vysokorychlostní železnice do destinace oproti preferovanému času příjezdu -1
Pozdější příjezd vysokorychlostní železnice do destinace oproti preferovanému času příjezdu -1
Denní doba cesty (0=ráno, 1=večer) -1
Frekvence spojů vysokorychlostní železnice +9
Operující nízkonákladová vysokorychlostní železniční společnost na dané lince +1
Počet nabízených sedaček na spojích vysokorychlostní železnice +1
Letecká doprava má hub v jedné z destinací na dané lince -2
Kvalita občerstvení podávaného ve vysokorychlostních vlacích +1
Míra pohodlí ve vysokorychlostních vlacích +1
Operující nízkonákladová letecká společnost na dané lince -1
Počet obyvatel bydlících v aglomeraci popojených měst -1
Rozdíl ve velikosti měst spojených danou linkou +1
Kvalita parkování u stanice vysokorychlostní železnice +1
Rychlost odbavení na letišti -1

Zdroj: Havlát (2025); rešerše 25 článků

ECON

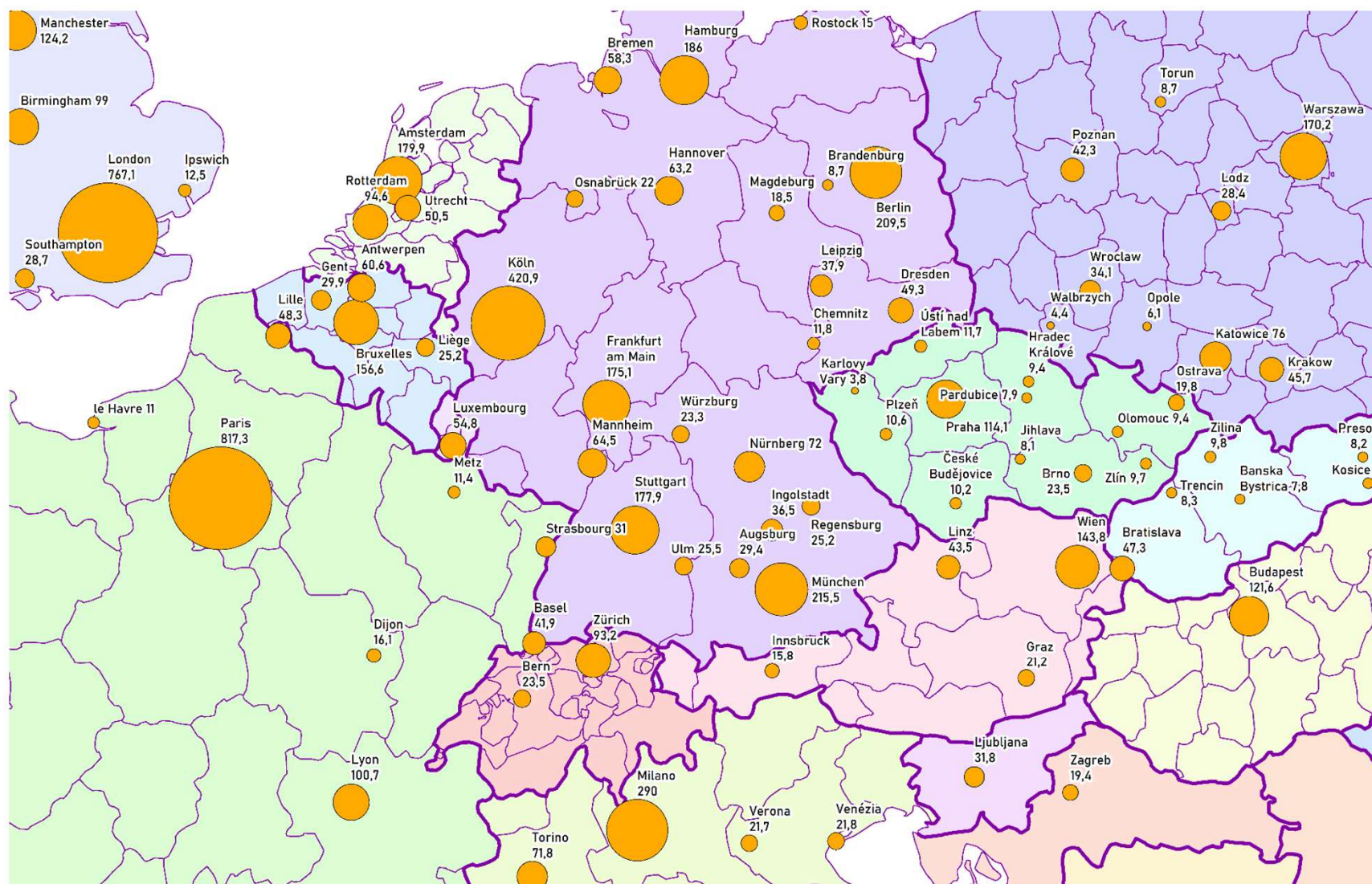
Konkurenceschopnost letadlo x VRT: vzdálenost a čas



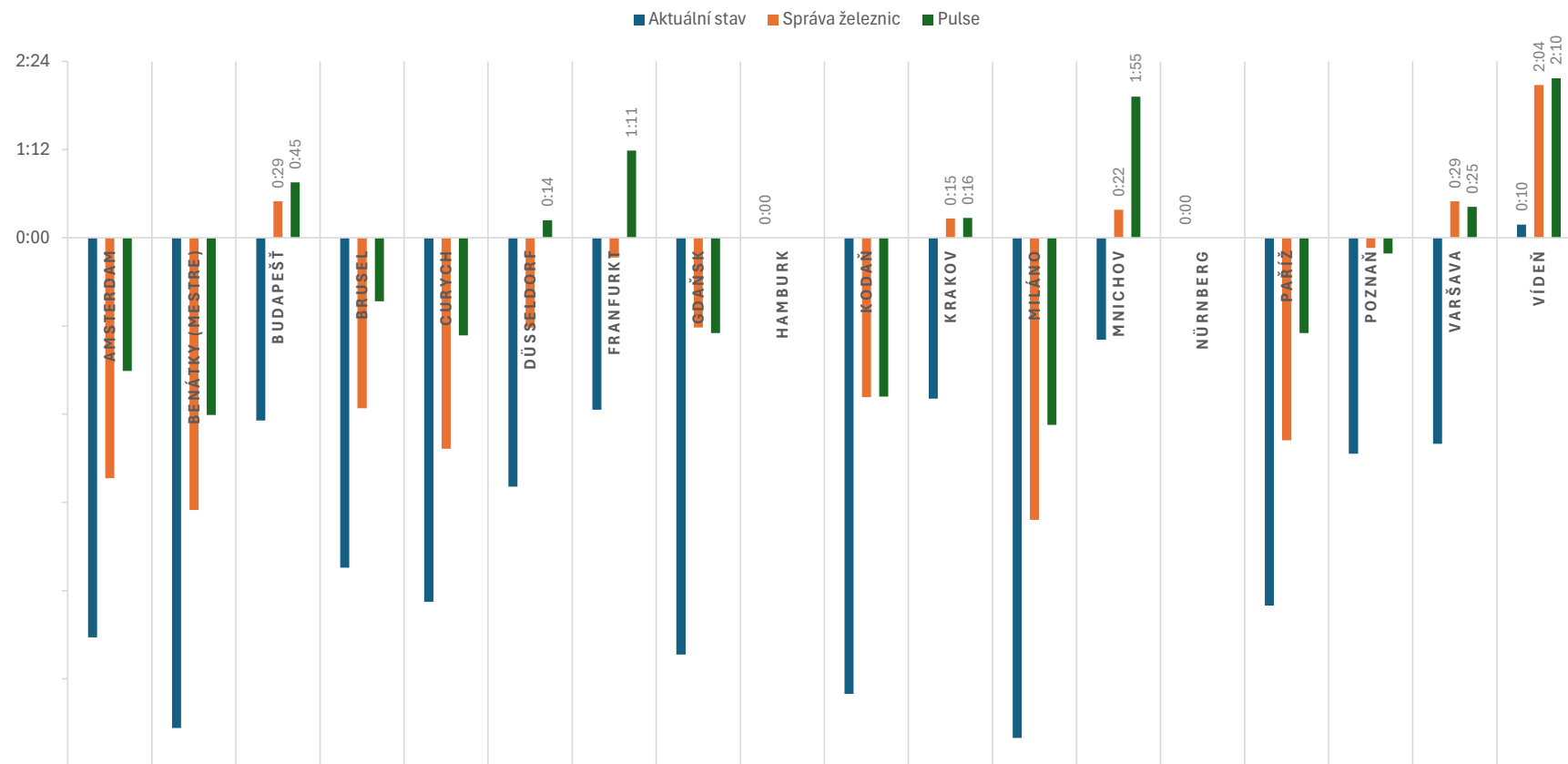
Source: Adapted from Commission for Integrated Transport, London (2004) *High-speed rails: international comparisons*, Steer Davies Gleave. In: www.transportgeography.org

Model dostupnosti (GIS)

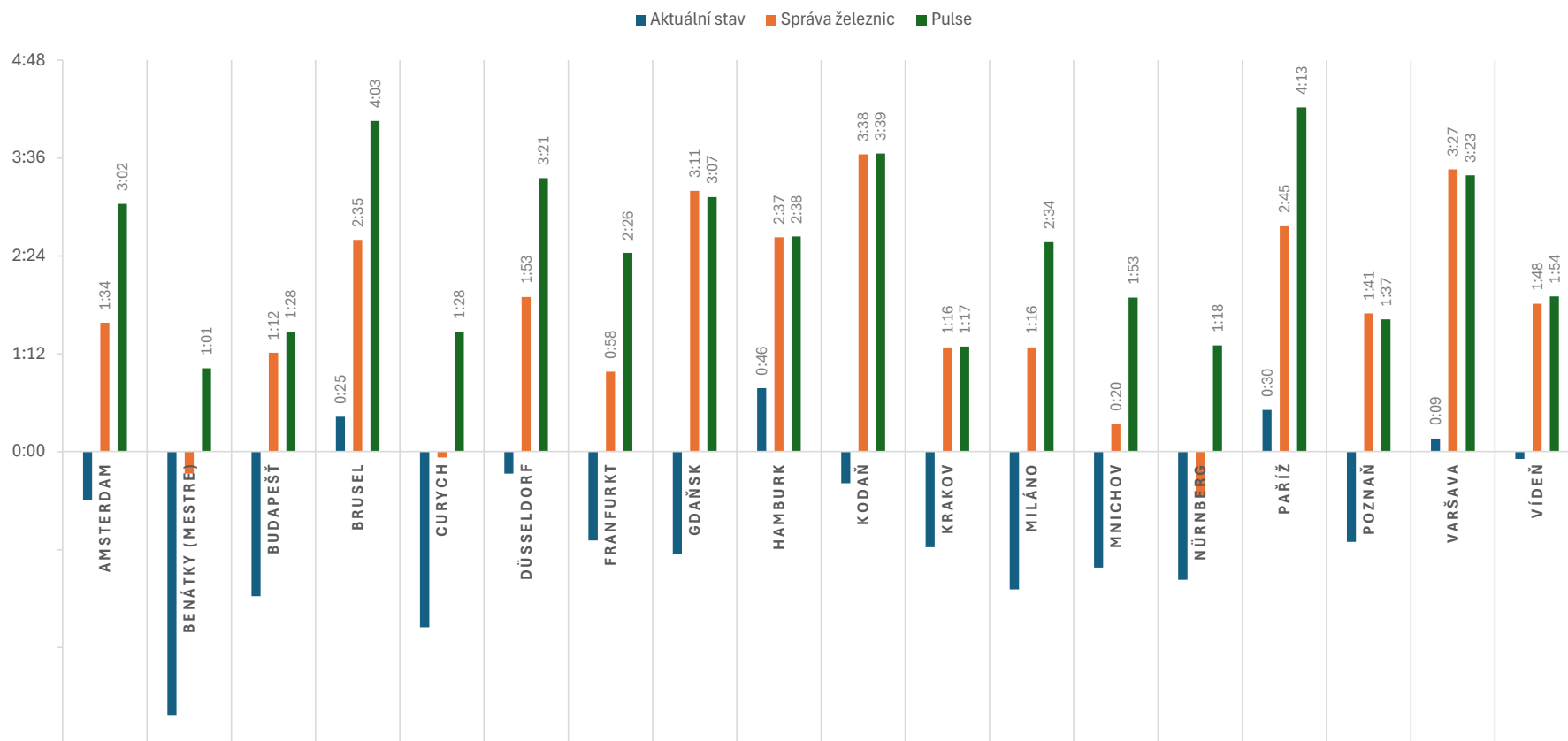
- K tomuto městu se dále váží všechny výpočty, městu je přidělen celý počet obyvatel a HDP za daný region.
- Statistická data byla převzata z Eurostatu. Populace je za rok 2023 a HDP za rok 2021.
- Čas na relacích určený jako jízdní doby vlakem – zdroje: Google.com, Seznam.cz, Rome2Rio.com, IDOS
- Implementována čistá jízdní doba, vždy nejrychlejší daný spoj na dané relaci, nezohledňuje čekání na spoj, ani četnost spojů.
- Následně přepočet na cestovní dobu, tedy „door to door“ (Pánský a kol., autorský odhad): automobil + 15 minut, vlak + 30 minut, letadlo + 3,5 hodiny (odbavení 1,5/0,5 hod.; transfer $\times 45$ minut)
- Modelové varianty: Současný stav železniční sítě – budoucí stav dle plánů SŽ – budoucí stav dle Institutu PULS (širší varianta)
- Posuzováno 15 destinací v širším středoevropském prostoru (v Belgii, Německu, Dánsku, Rakousku, Švýcarsku, Maďarsku a Polsku).



ÚSPORA ČASU PŘI CESTĚ VLAKEM PROTI LETADLU



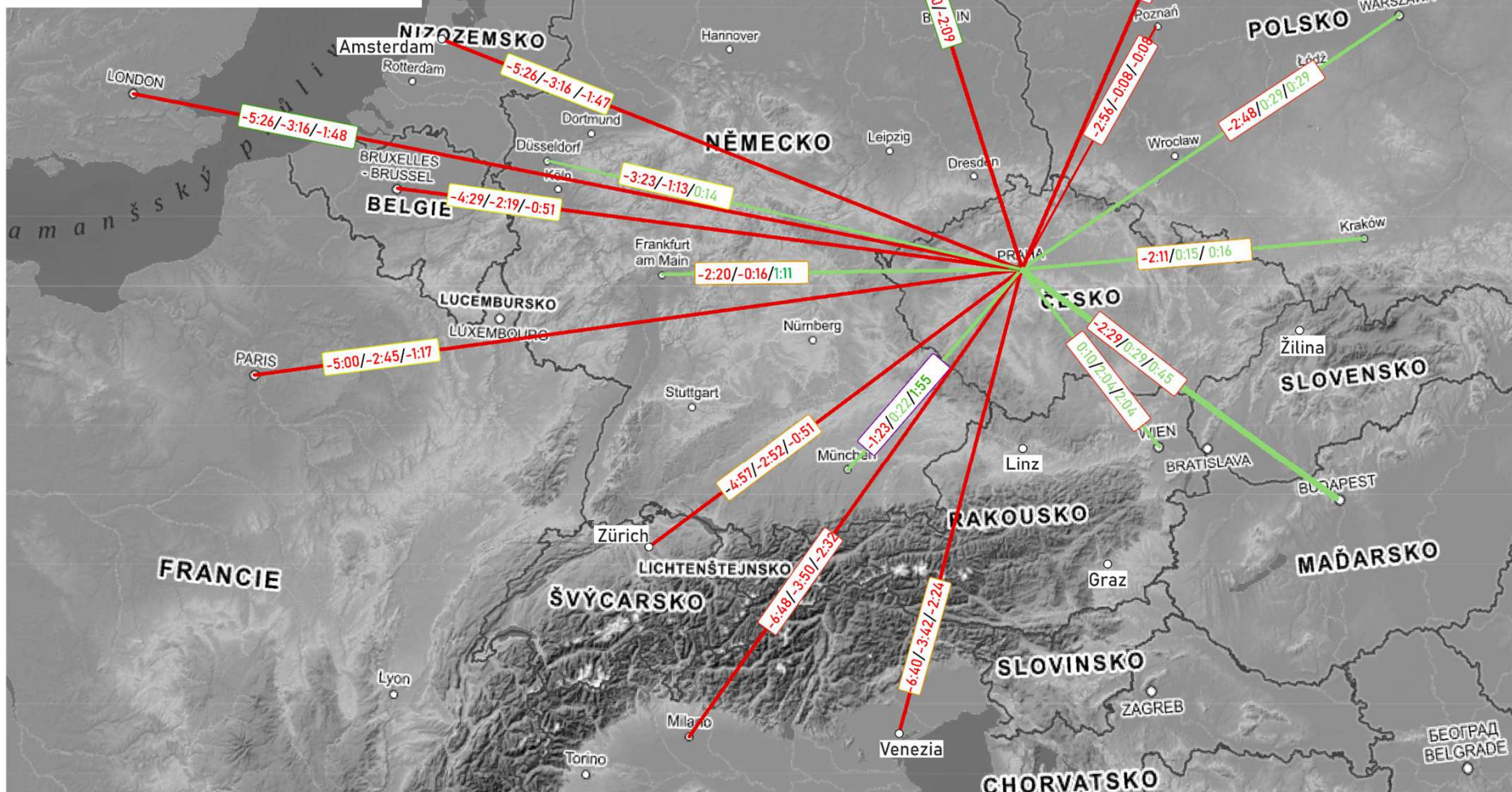
ÚSPORA ČASU PŘI CESTĚ VLAKEM PROTI AUTOMOBILU



ROZDÍL ČASOVÉ DOSTUPNOSTI LETADLO VS ŽELEZNICE

Stávající stav SŽ 2035 PULS 2035

6.18 / 4.33 / 4.54

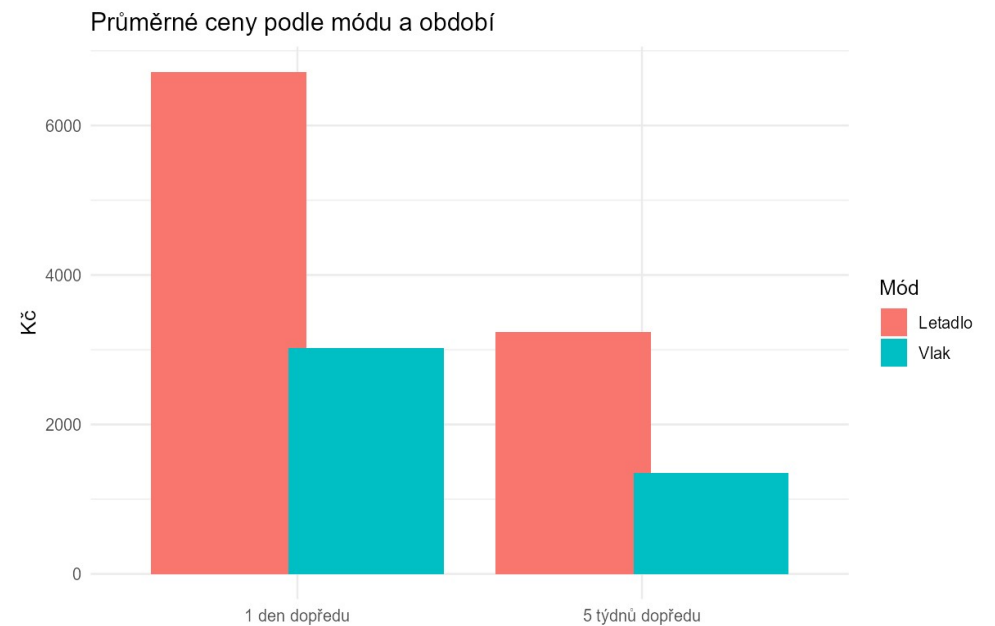


Analýza cen jízdenek a letenek

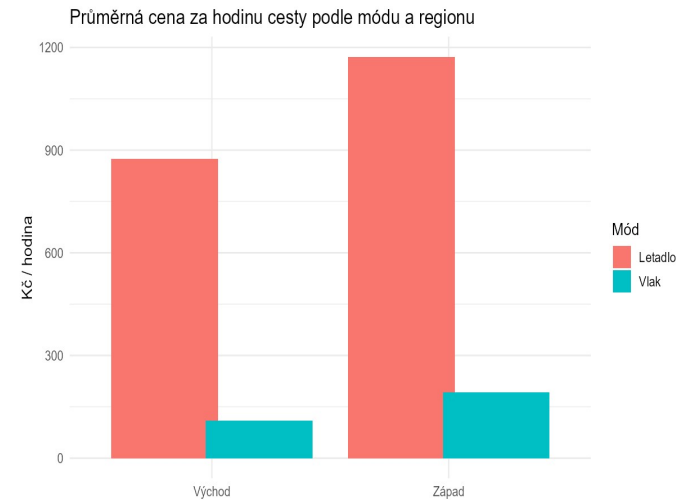
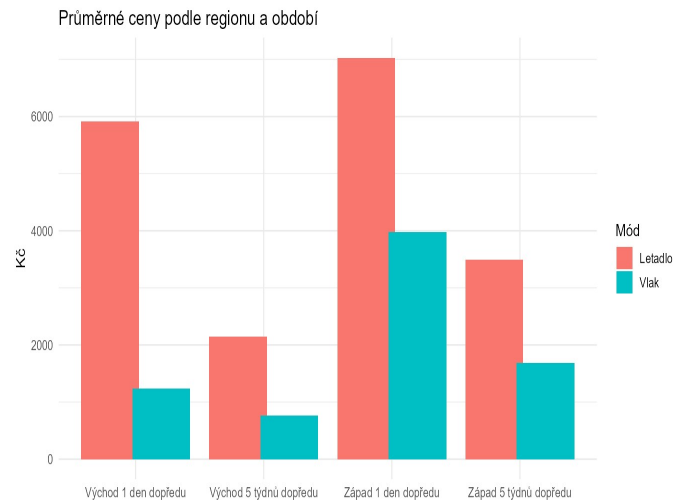
- 15 destinací v širším středoevropském prostoru (v Belgii, Německu, Dánsku, Rakousku, Švýcarsku, Maďarsku a Polsku).
- Analýza 473 záznamů letenek a jízdenek
- Dvě období: 1 den vs. 5 týdnů před cestou
- Proměnné: cena, mód, předstih, region, délka cesty
- Cíl: popsat cenové hladiny, regionální rozdíly a elasticitu

Cenové rozdíly mezi módy a časem nákupu

- Letadla přibližně 2–3× dražší než vlaky
- Předstih nákupu (5 týdnů) → –52 % (letadla), –55 % (vlaky)
- Vysoká variabilita, zejména u vlaků ($CV > 80 \%$)

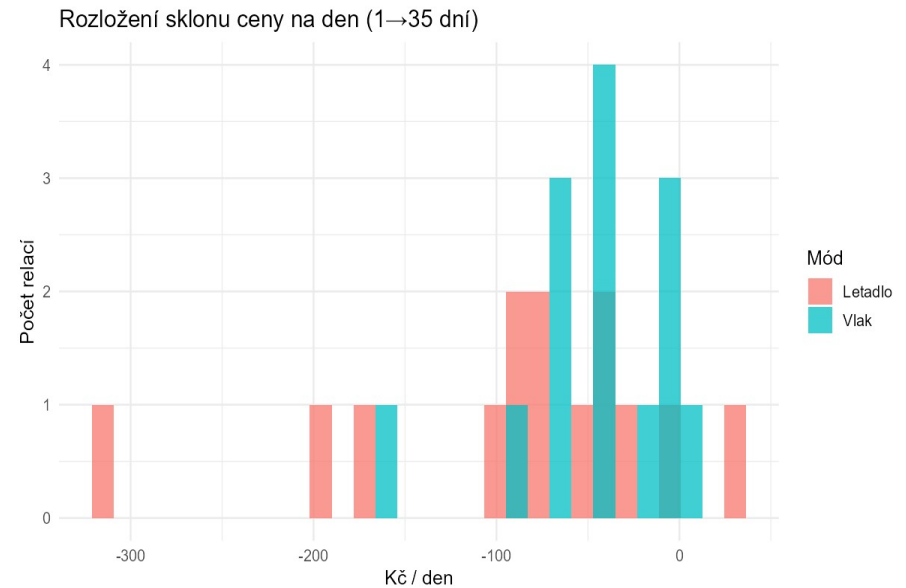
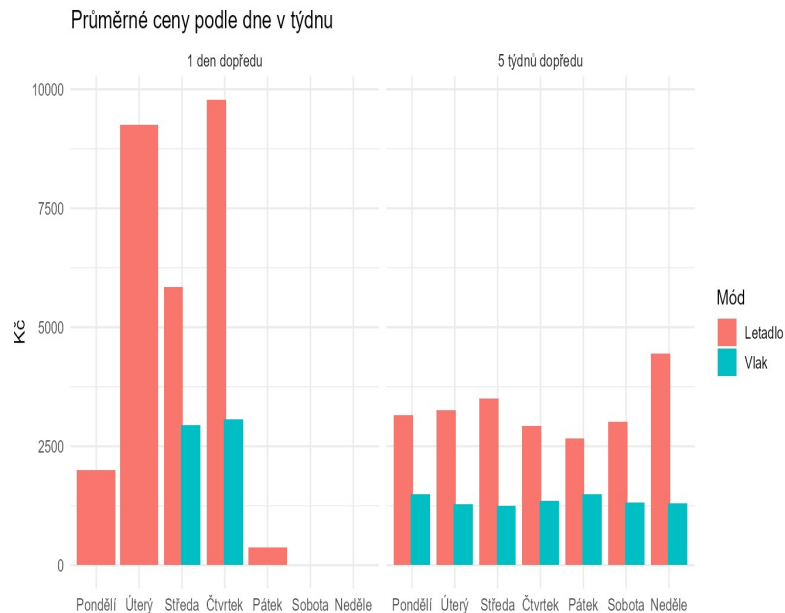


Regionální rozdíly (Západ vs Východ)



- Západ ~ +40–50 % dražší, ale po kontrole relací efekt mizí
- Ceny za hodinu cesty: západní vlaky 2× dražší než východní
- Rozdíly v cenách jsou odrazem geografické orientace

Časová dynamika cen (den v týdnu, elasticita)



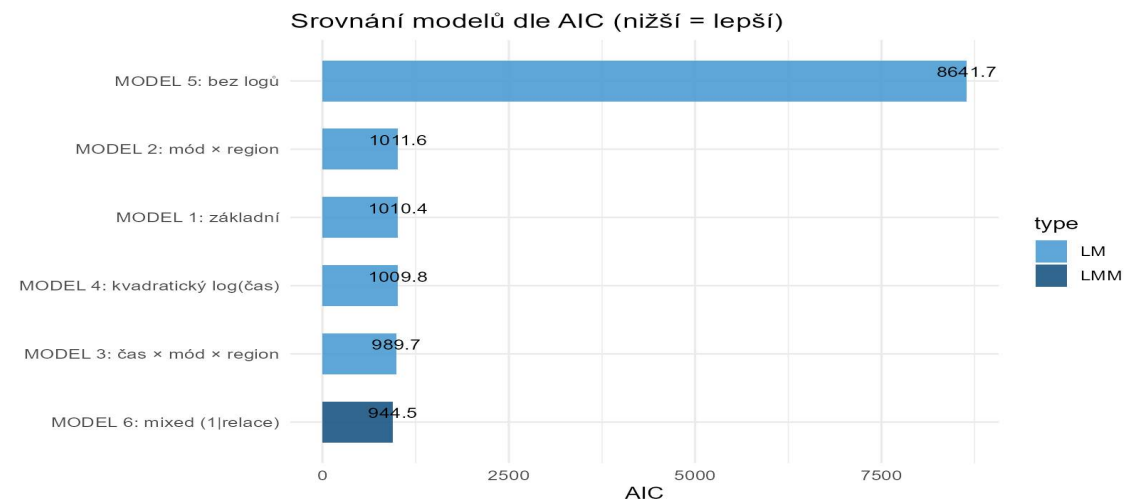
- Letenky: pondělí–čtvrtek dražší, pokles o víkendu
- Vlaky: menší kolísání, špičky Pá–Ne

Modely a jejich srovnání

Tabulka: AIC, R² (LM: adj.; LMM: marg/cond), RMSE

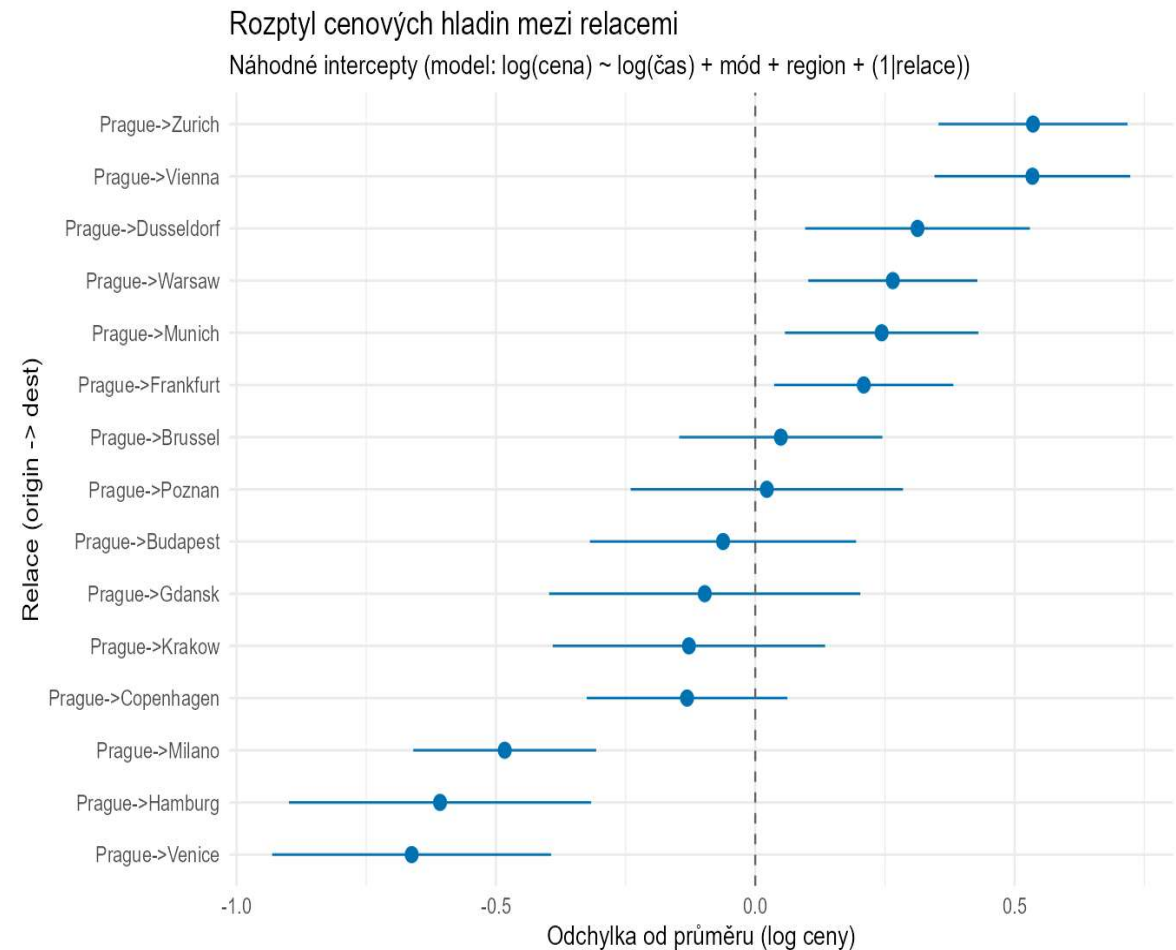
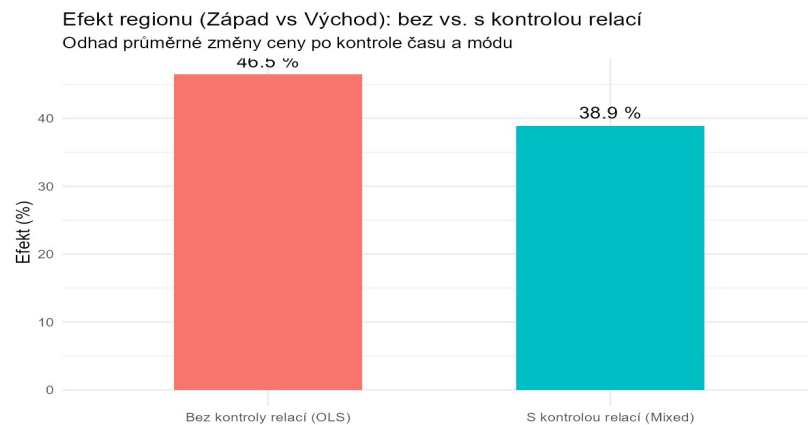
Model	Typ	AIC	R ²	RMSE	Vzorec
MODEL 6: mixed (1 relace)	LMM	944.5	R2_marg NA / R2_cond NA	0.6	$\log(\text{price}) \sim \log(\text{time}) + \text{mode} + \text{region} + (1 \text{relace})$
MODEL 3: čas × mód × region	LM	989.7	R2 0.415 / adj 0.407	0.7	$\log(\text{price_num}) \sim \log(\text{time_transport_hr}) * \text{mode_label} * \text{region_group}$
MODEL 4: kvadratický log(čas)	LM	1009.8	R2 0.382 / adj 0.377	0.7	$\log(\text{price_num}) \sim \log(\text{time_transport_hr}) + I((\log(\text{time_transport_hr}))^2) + \text{mode_label} + \text{region_group}$
MODEL 1: základní	LM	1010.4	R2 0.379 / adj 0.375	0.7	$\log(\text{price_num}) \sim \log(\text{time_transport_hr}) + \text{mode_label} + \text{region_group}$
MODEL 2: mód × region	LM	1011.6	R2 0.380 / adj 0.375	0.7	$\log(\text{price_num}) \sim \log(\text{time_transport_hr}) + \text{mode_label} * \text{region_group}$
MODEL 5: bez logů	LM	8641.7	R2 0.236 / adj 0.232	2220.4	$\text{price_num} \sim \text{time_transport_hr} + \text{mode_label} + \text{region_group}$

Nejlepší model = nejnižší AIC + interpretovatelný vztah



Vztah ceny a délky cesty + kontrola relací

- Elasticita $\sim 1,0$ (10 % delší cesta $\rightarrow$ +9–10 % vyšší cena)
- Po kontrole relací regionální efekt ztrácí význam
- Každá relace má vlastní cenovou hladinu (~ 30 % rozptylu)



Shrnutí a implikace

- Vlak trvale levnější (~9× po kontrole relací)
- Ceny rostou úměrně s časem (elasticita ≈ 1)
- Regionální rozdíly vysvětluje struktura relací
- ~30 % variability mezi relacemi, zbylých 70 % tvoří běžná dynamika trhu (poptávka, dopravce, předstih, den v týdnu).
- Nejvyšší relativní ceny vykazují západní destinace (Zurich, Vienna, Düsseldorf), zatímco nejnižší jižní a východní relace (Venice, Hamburg, Milano).

skupina	relace	effect_pct
Nejdražší relace	Prague->Zurich	+70.8 %
Nejdražší relace	Prague->Vienna	+70.6 %
Nejdražší relace	Prague->Dusseldorf	+36.7 %
Nejdražší relace	Prague->Warsaw	+30.4 %
Nejdražší relace	Prague->Munich	+27.6 %
Nejlevnější relace	Prague->Venice	-48.4 %
Nejlevnější relace	Prague->Hamburg	-45.5 %
Nejlevnější relace	Prague->Milano	-38.3 %
Nejlevnější relace	Prague->Copenhagen	-12.3 %
Nejlevnější relace	Prague->Krakow	-12.0 %

Environmentální hledisko: uhlíková stopa

- Doprava se na emisích skleníkových plynů podílí velkým dílem: 21,6 % všech emisí CO₂ na světě (Climate Watch 2021)
- Osobní doprava tvoří většinu, zhruba 55 % (Ritchie 2020).
- Podle zprávy UNEP Emissions Gap Report 2020 a 2022 (Daniš 2023): Doprava vytváří 14 % světových emisí (před dopravou energetika 43 % a Průmysl s 21 %)
- Nejen CO₂, ale i NH₄ nebo N₂O
- Moldan (2015): ohřívací potenciál metanu je 21 až 30x vyšší než CO₂, v případě N₂O dokonce 310x
- U emisí z provozu dopravy ovšem především CO₂: při spalování benzínu vznikají emise 2,168 kgCO₂eq, z toho 2,155 kg CO₂ a pouze 0,013 kgCO₂eq metanem a oxidem dusným (BEIS 2020b).



Environmentální hledisko: uhlíková stopa (Cepník 2023)

Výpočet pro **letadla** založen na algoritmu, který vychází z popisu modelu společnosti Sabre (Jardine 2009).

Klíčové faktory:

- **Emisní faktor paliva:** Uvažuje se hodnota 3,1814 kgCO₂eq na kilogram spáleného leteckého paliva (Zdroj: BEIS 2020). Emise jsou přímo úměrné množství spáleného paliva.
- **Vzdálenost:** K ortodromě (přímé vzdálenosti) se přidává **8% navýšení** kvůli manévrum při vzletu a přistávání (Zdroj: BEIS 2020). Použit model „do 3000 km“, protože spotřeba není vzhledem ke vzdálenosti lineární
- **Radiační působení (RFI):** Všechny letecké emise jsou násobeny faktorem **1,7** (Zdroj: Jungbluth & Meili 2018).
- **Náklad:** Používá se koeficient pro **přepočet emisí na cestujícího**, který zohledňuje, že část emisí připadá na náklad a infrastrukturu pro pasažéry. Pro dlouhé lety se např. cestujícím přisuzuje 86,8 % celkových emisí (Zdroj: BEIS 2020); Mazareanu (2020): v roce 2019 bylo 59 % výkonů celosvětové nákladní letecké dopravy realizováno v nákladním prostoru osobních letadel
- **Obsazenost:** Zahrnut je přepočet sedadel v prémiových třídách na ekvivalenty sedadel *economy class* (Zdroj: BEIS 2020)

Environmentální hledisko: uhlíková stopa (Cepník 2023)

Výpočet pro automobil:

- relativně běžný model Škoda Fabia II Combi, a to ve dvou motorizacích: 1,4 l/63 kW EU 4 (benzín, rok výroby 2009)
- Koeficient přepočtu spotřeby podle studie BEIS (2020)

Výpočet pro vlak:

- zohledněn typ vlaku (použit model TGV), měrnou spotřebu (kWh/vlakokm) a ekvivalent vyprodukované energie v místním energetickém (při přejezdu hranic změny; zdroj: Doleček & Hrubý 2017; Fritz et al. 2018).
 - Komparace odhadů s databází Ecolnvent
- Odvození na bázi zohlednění životního cyklu prostředku

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

E_{os} =emise ekvivalentu CO₂ na osobu (g)

s =překonaná vzdálenost (km)

e_{vkm} =měrná spotřeba tramvaje na vlakokilometr (kWh)

E_{kWh} =emise ekvivalentu CO₂ na kWh vyprodukované energie v místním energ. mixu (g)

n_{obs} =počet cestujících

Environmentální hledisko: uhlíková stopa

Srovnání podle uhlíkové stopy vybraných destinací (kalkulačka Cepník 2023)

	Uhlíková stopa (emise v kgCO ₂ eq/osoba)		
	letadlo	VRT	automobil
Budapešť	69,6	38,2	49,0
Mnichov	39,1	17,8	35,9
Norimberk	35,1	16,0	27,9

Srovnání:

- 49 kg ~ třetina měsíční produkce na osobu při cíli udržet změnu globální teploty do 1,5°C (cca 1,8 tuny na osobu)
- Práce 2 stromů po celý rok (jeden strom zafixuje cca 21 kg za rok).

Shrnutí

- Železnice je na střední vzdálenosti časově i cenově konkurenceschopná.
 - v door-to-door čase často srovnatelná s leteckou dopravou, přitom dlouhodobě levnější.
- Nabízí stabilnější a předvídatelnější cenovou politiku než letecká doprava.
 - na rozdíl od letectví, které pracuje s dynamickými cenami; stabilita železnice je důležitá z hlediska sociální dostupnosti i dopravní politiky.
- Rozdíly mezi regiony vysvětluje struktura jednotlivých relací
 - regionální efekt po kontrole mizí; klíčové jsou specifika tras, dopravců a konkurenční prostředí, nikoli samotná poloha destinace.
- Díky nižším emisím a sociální dostupnosti je podpora železnice strategickým cílem dopravní a environmentální politiky.

Díky, že jsme byli před Pitomiem a budeme i po něm...

Děkujeme za pozornost