

# Modelování dekarbonizace české ekonomiky - doprava

**SEEPIA**

Centrum socio-ekonomického výzkumu  
dopadů environmentálních politik

Vojtěch Máca

workshop SEEPIA | 8. 1. 2024



Tento projekt SS04030013 Centrum socio-ekonomického výzkumu dopadů environmentálních politik je financován se státní podporou Technologické agentury ČR a Ministerstva životního prostředí ČR v rámci Programu Prostředí pro život..

[www.tacr.cz](http://www.tacr.cz)

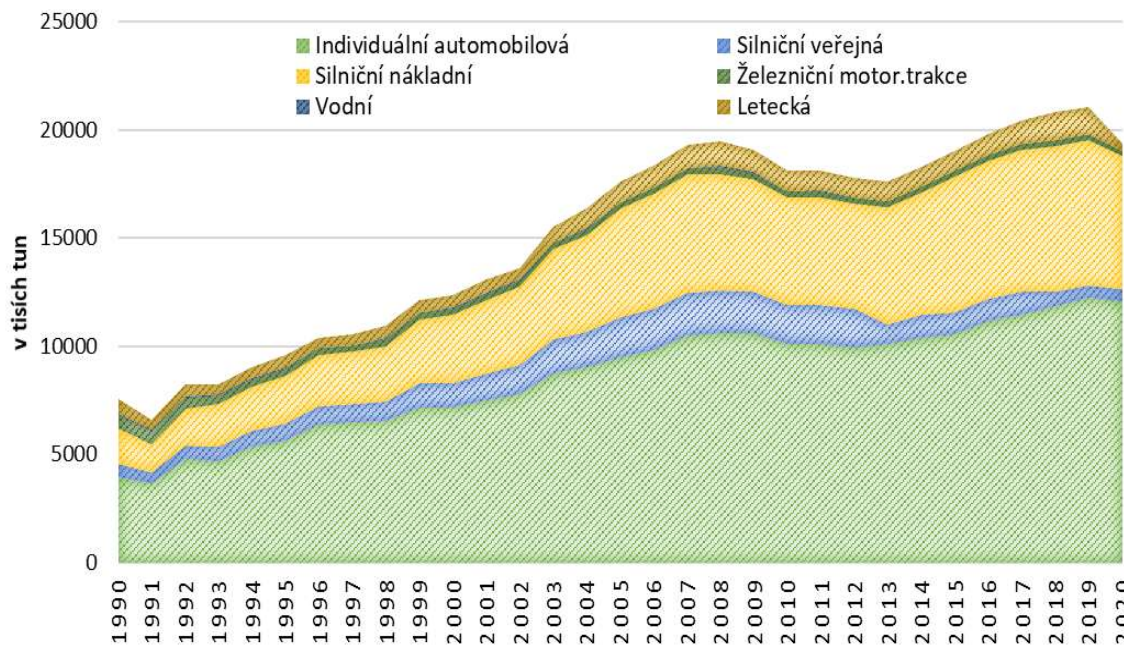
[www.mzp.cz](http://www.mzp.cz)



Univerzita  
Karlova

# emise z dopravy I

## EMISE CO<sub>2</sub> PODLE DOPRAVNÍCH MÓDŮ



podíl silniční nákladní  
vzrostl z 20 % na 32 %

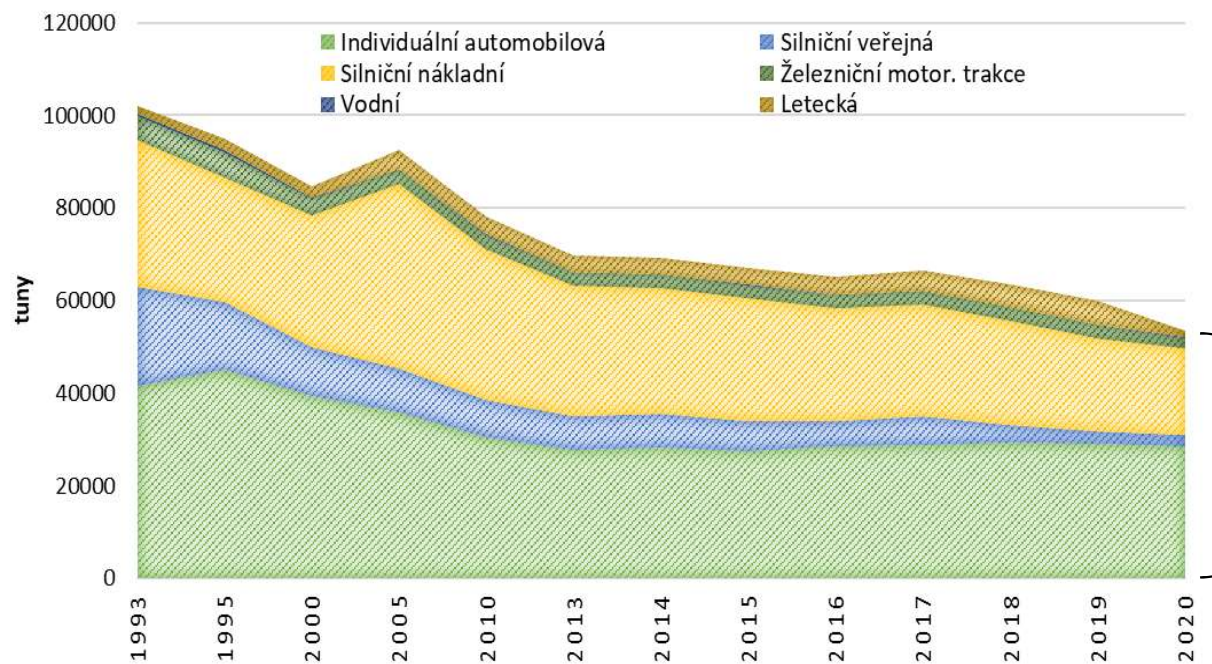
podíl individuální  
vzrostl z 49 % na 62 %

**za 30 let vzrostl objem  
emisí CO<sub>2</sub> z dopravy  
o 150 %**

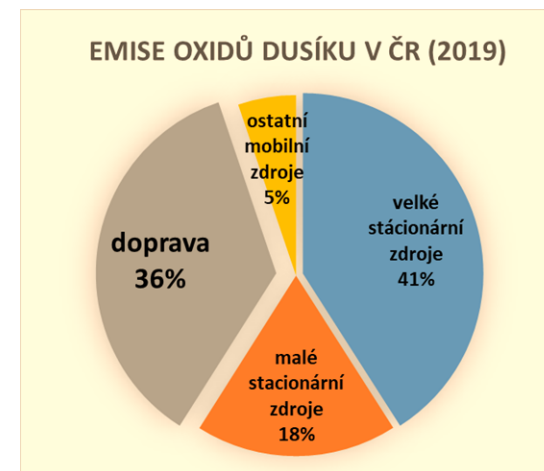


# emise z dopravy II

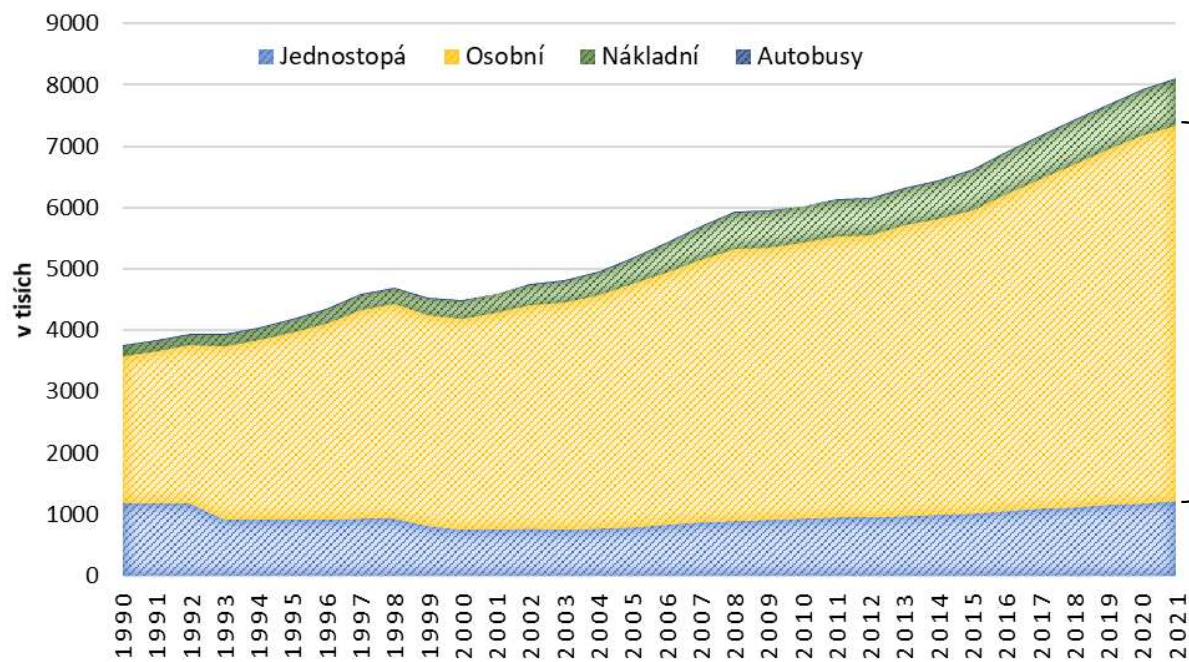
## EMISE NO<sub>x</sub> PODLE DOPRAVNÍCH MÓDŮ



od roku 1993 klesly emise oxidů dusíku z dopravy o 48 %



## VÝVOJ POČTU SILNIČNÍCH VOZIDEL V ČR



počet osobních aut od roku 1990 vzrostl 2,5krát

počet vozidel se od roku 1990 více než zdvojnásobil

# Sektor dopravy v TIMES-CZ

- rozdělen na silniční osobní a nákladní dopravu, železniční osobní a nákladní dopravu, vodní a leteckou dopravu.
- poptávka - přepravní výkony (vozokilometry) a přepravní výkony (osobokilometry a tunokilometry) v jednotlivých kategoriích
- železniční ve zjednodušené podobě s agregovaným vozovým parkem a exogenně stanoveným podílem trakcí
- letecká a vodní doprava modelovány jako generické technologie s poptávkou odpovídající spotřebě paliva



# silniční doprava v TIMES-CZ

segmentace podle:

- kategorie vozidla (OA,LUV, střední a těžké nákladní, bus, moto),
- velikostního segmentu (OA - malé, střední, velké+SUV),
- emisní norma (~věk),
- palivo (benzín, diesel, LPG, CNG, LNG, E85, BEV, HEV, PHEV, FCEV)
- provozované & nově pořizované (vč. ojetin)
  - OA - 82 typů ve vozovém parku, 30+ nových
  - LUV - 14 typů ve vozovém parku, 10 nových
  - TNV - 15 typů ve vozovém parku, 10 nových
  - bus - 15 typů ve vozovém parku, 8 nových
  - motorcykly & mopedy - 9 typů ve vozovém parku, 2 nových

Pro každý segment/stratu:

- průměrný roční počet ujetých kilometrů (klesající s věkem až do 30. roku)
- emisní faktory
- provozní náklady
- pořizovací náklady (nová a ojetá vozidla do 20 let stáří)

# vstupy do modelu

## **poptávka po dopravě**

- projekce MD pro Dopravní politiku ČR 2021-2027
  - 3 scénáře – optimistický, pesimistický, centralní
  - obecně předpoklad růstu pro hlavní módy (IAD, SND atd.)
- + *kalibrace na energetickou statistiku spotřeby paliv*
- + *kontrola energetické bilance scénářů využití OZE v dopravě s modelem TRANSPLINEX (prof. Pospíšil)*

## **pohony**

- vychází z modelu FECET (simulační model palivové efektivity; prof. Macek)

## **emisní faktory**

- odvozeny z modelu COPERT (poskytnuto CDV)

## **ceny vozidel**

- data z Sauto.cz za rok 2022

# Sektor dopravy v TIMES-CZ

## **modelový algoritmus:**

- minimalizace celkových nákladů systému při stanovených omezeních (maximální meziroční přírůstky, změny podílů mezi velikostními třídami, palivy atd.) → efektivně minimalizace celkových nákladů vlastnictví (TCO)
- plně exogenní poptávka

## **rozvíjená rozšíření algoritmu:**

- pravděpodobnostní volba auta domácnostmi
- pravděpodobnostní volba módu v osobní dopravě (→ možnost změny poptávky po módech a celkové poptávky po dopravě)



---

# Sektor dopravy v TIMES-CZ

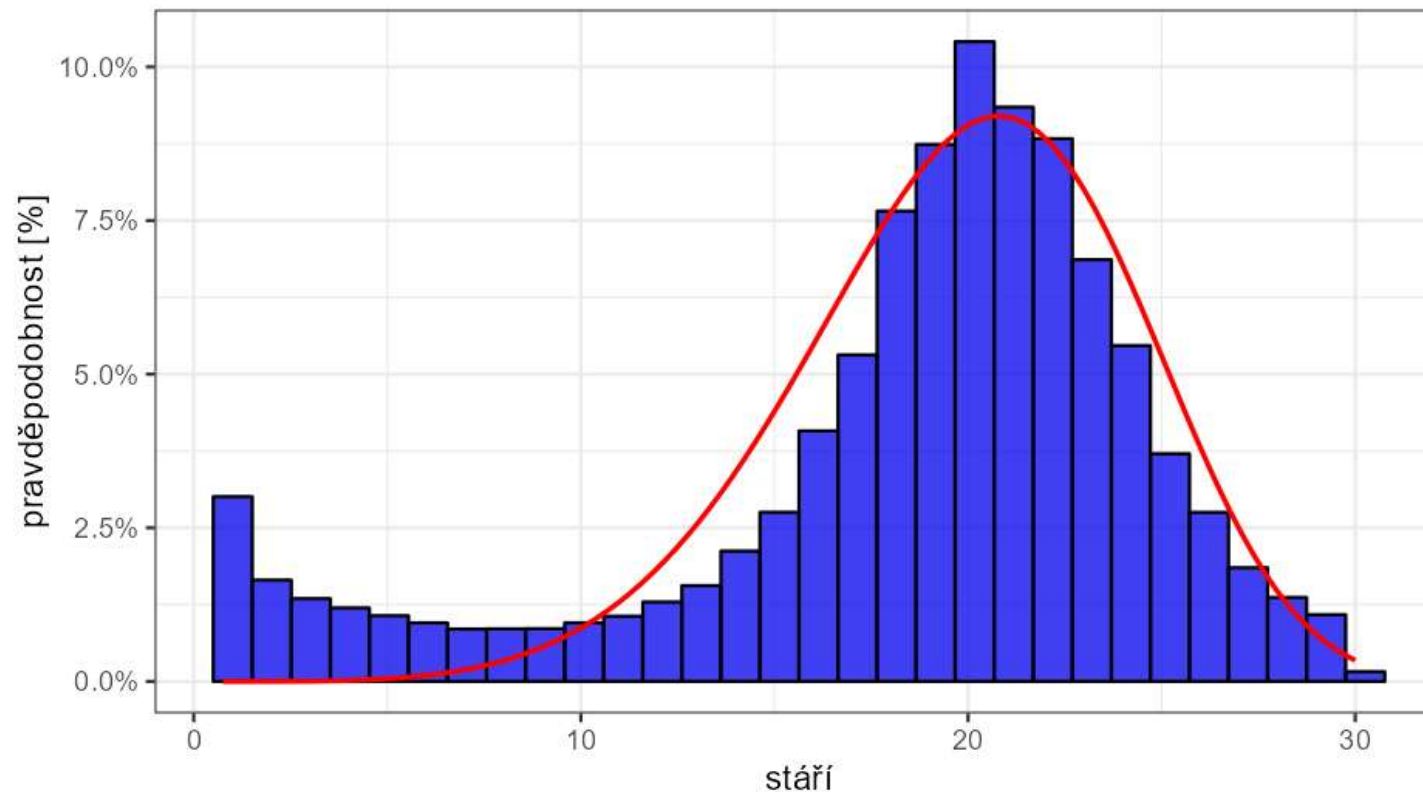
výsledky modelování poskytují náhled na:

- složení vozového parku,
- spotřebu paliv,
- podíl OZE v dopravě,
- náklady,
- emise (NO<sub>x</sub>, PM<sub>2,5</sub> a CO<sub>2</sub>)

# Stock-flow model

- obvykle kohortový model → aktualizuje stav vozového parku odečtením vyřazených vozidel a přidáním nových
- komponenty:
  - celkový vozový park (*pro něj se počítají výkony, spotřeba, emise ...*)
  - vyřazování – dle uvažované životnosti, TCO, historických dat
  - nově pořizovaná vozidla – optimálně na základě diskrétní volby (pořizovací + provozní náklady + další preference) – lze odvozovat z reálného chování (obvykle bez charakteristik uživatelů) nebo z šetření vyjádřených preferencí

# Věkové rozložení vyřazených osobních automobilů v ČR (2016-2023)



***... průměrná doba setrvání osobního automobilu ve českém vozovém parku je ~12 let***

# Pořízení nového vozidla

## Celkové náklady vlastnictví (TCO)

- finanční ukazatel sčítající pořizovací cenu aktiva a náklady na jeho provoz
  - pořizovací cena vč. příp. daní a poplatků (*– zůstatková hodnota na konci období*)
  - provozní náklady – PHM/elektrina + údržba + pojištění
  - diskontováno na současnou hodnotu

$$TCO_j = CP_j + REGTAX_j + AOC_j \left( \frac{(1+i)^n - 1}{i} \right) - \frac{RV}{(1+i)^n}$$

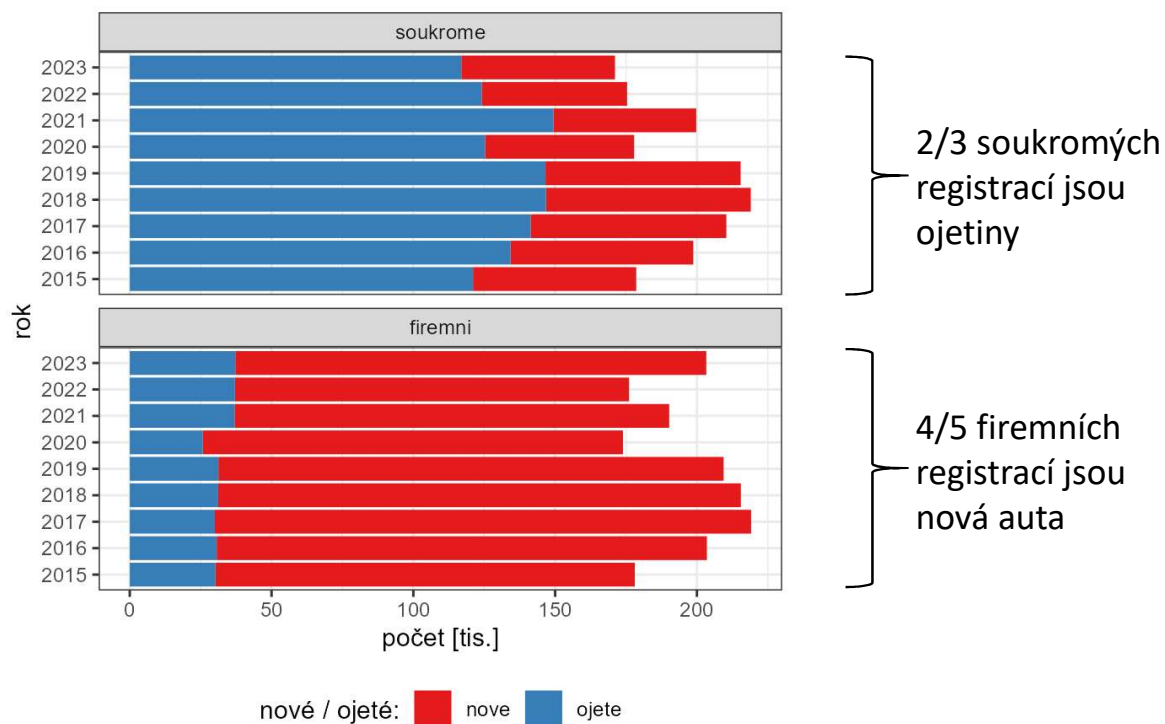
$$AOC_n = CIRCTAX_n + INSURANCE_n + MAINTENANCE_n + FUEL_n + ELEC_n$$

$$FUEL_n = VKM_n \times FUELPRICE_n$$

$$ELEC_n = VKM_n \times ELECPRICE_n$$

# Nové registrace

Nové registrace aut (firemní vs. soukromé)



firmy i soukromé osoby registrují v posledních letech podobné počty aut

# Volba nového auta

- vlastní dotazníkové šetření (duben '23)
- respondenti (n=1084) se záměrem pořídit nové auto během 3 let
- výběrový experiment pro 4 pohony: konvenční spalovací (ICE), hybridní (HV), plug-in hybridní (PHEV) a bateriový (BEV)
- atributy volby: pořizovací cena, provozní náklady, dojezd na nabití/natankování, doba nabíjení (BEV/PHEV), daně/dotace
- výchozí cena vozidla odvozena z respondentem očekávané kupní ceny pro zachování realističnosti

## Výběrová karta

1. VOLBA	Dobíjecí hybrid	Elektromobil	Běžné auto	Hybridní auto
Základní cena	990 000 Kč	990 000 Kč	900 000 Kč	900 000 Kč
Dotace / poplatek	-200 000 Kč	-200 000 Kč	90 000 Kč	180 000 Kč
Konečná cena	790 000 Kč	790 000 Kč	990 000 Kč	1 080 000 Kč
Provozní náklady (průměrné Kč za rok)	1,5 Kč na 1 km (13 125 Kč za rok)	3,5 Kč na 1 km (30 625 Kč za rok)	4 Kč na 1 km (35 000 Kč za rok)	5 Kč na 1 km (43 750 Kč za rok)
Silniční daň	0 Kč za rok	0 Kč za rok	10 000 Kč za rok	10 000 Kč za rok
Vzdálenost dojezdu	900 km + 50 km (baterie)	650 km	900 km	900 km
Normální nabíjení	30 min.	10 hod.	-	-
Rychlé nabíjení	nelze	1 hod.	-	-
Výhody nebo omezení	-	wallbox zdarma	omezení vjezdu do centra měst	-
Které auto byste vybrali/a?	Dobíjecí hybrid	Elektromobil	Běžné auto	Hybridní auto



# Volba nového auta

- zjištěné preference pro charakteristiky vozidel:
  - obecně zamýšlejí pořídit větší a dražší auto →
  - citlivost na cenu, náklady, daně, částečně na délku dojezdu,
  - méně na dobu nabíjení,
  - většina nepeněžních podpor nemá na volbu vliv

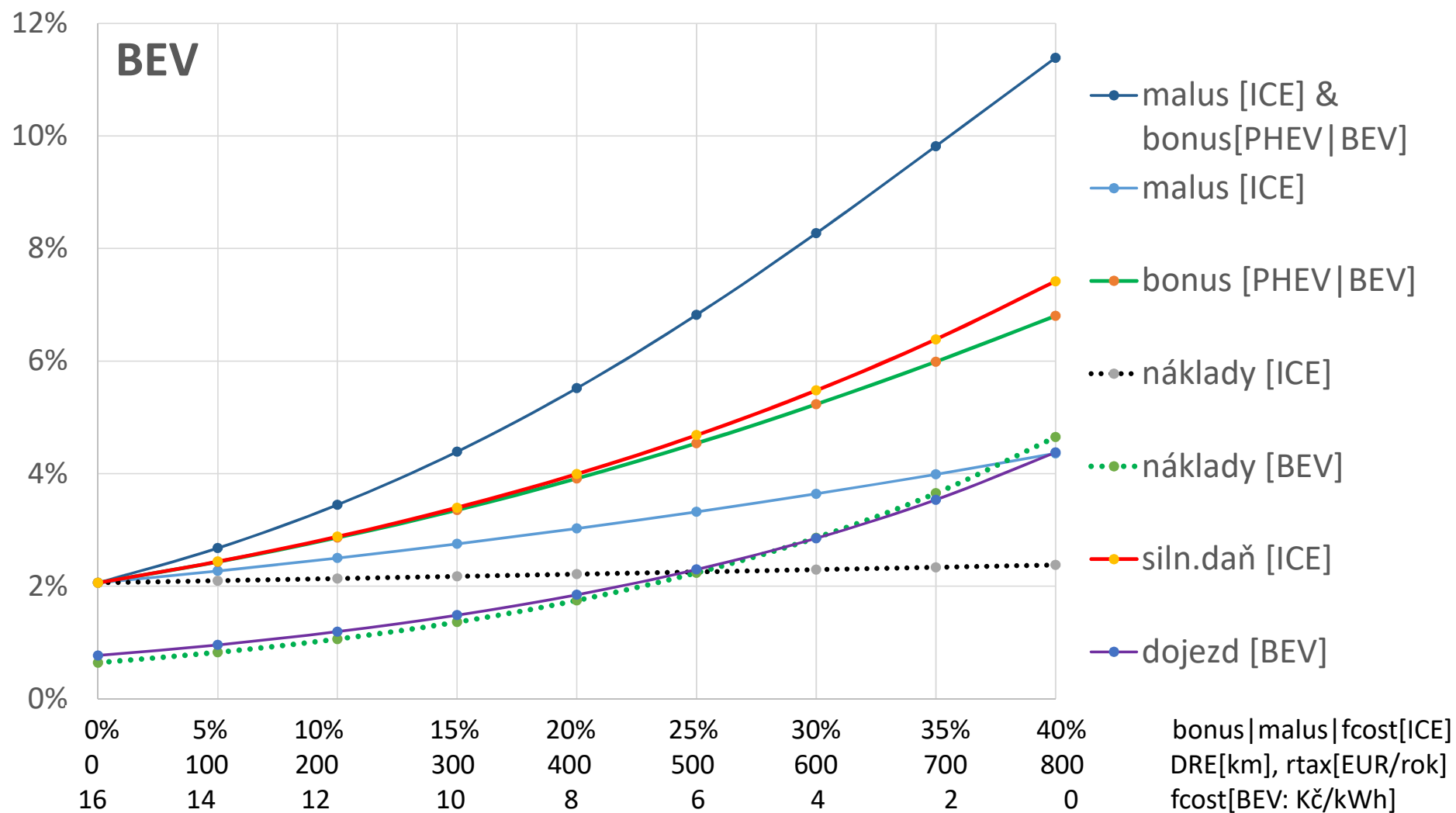


současné vs. zamýšlené auto

## Velikostní třída

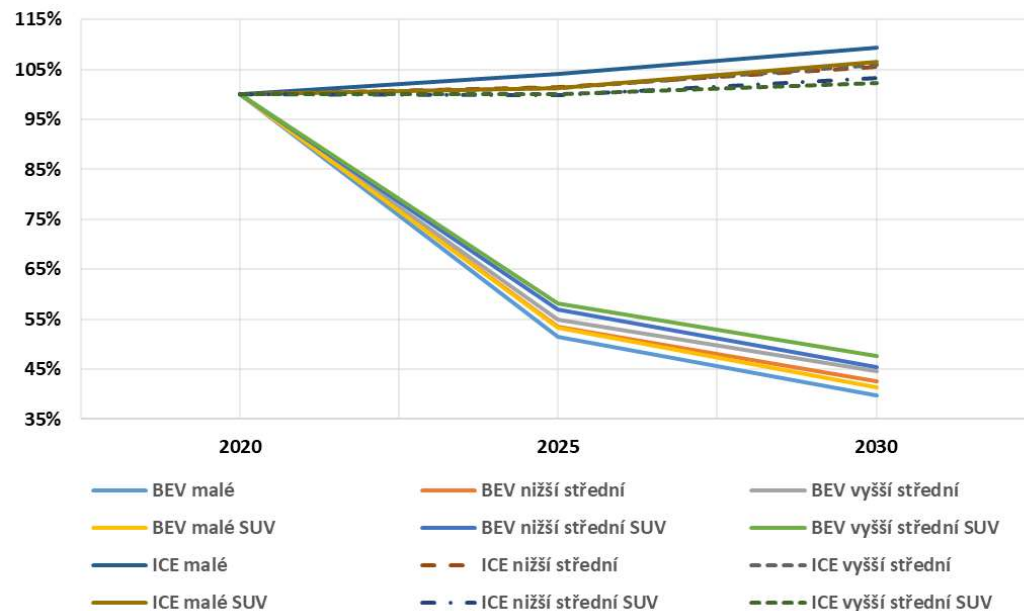
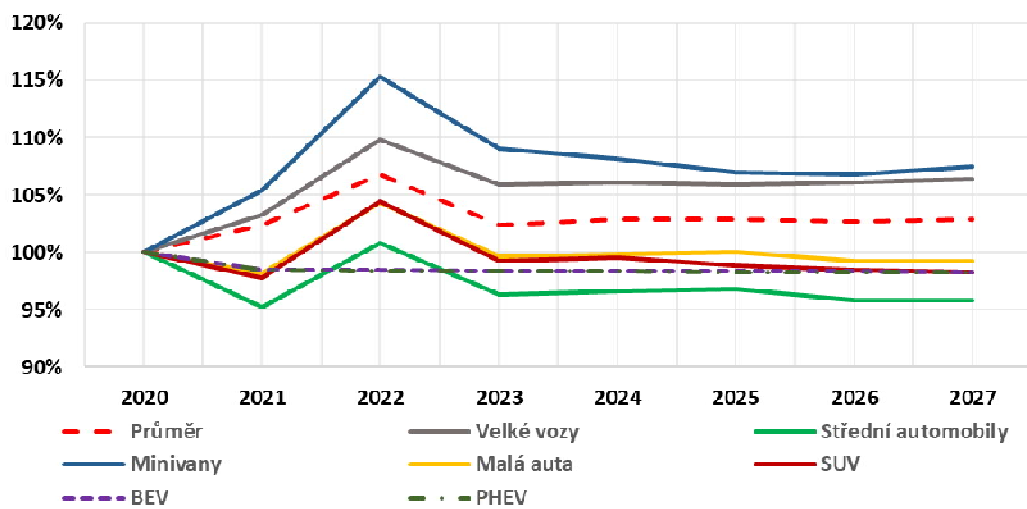
■	Jiné
■	MPV – malý
■	MPV – velký
■	Nevím
■	Pick-up
■	SUV – střední
■	SUV – malé
■	SUV – velké
■	Třída A – mini
■	Třída B – malé
■	Třída C – nižší střední
■	Třída D – střední
■	Třída E – vyšší střední
■	Třída F/G – luxusní
■	Třída S – sportovní

# Simulace: tržní podíl BEV (za 3 roky)



# Předpoklady o budoucím vývoji cen

- potenciálně značný vliv,
- čím vzdálenější budoucnost, tím větší nejistota...
- např. předpokládaný vývoj cen osobních automobilů s baterií a spalovacím motorem podle Statista (L) a BNEF (R):



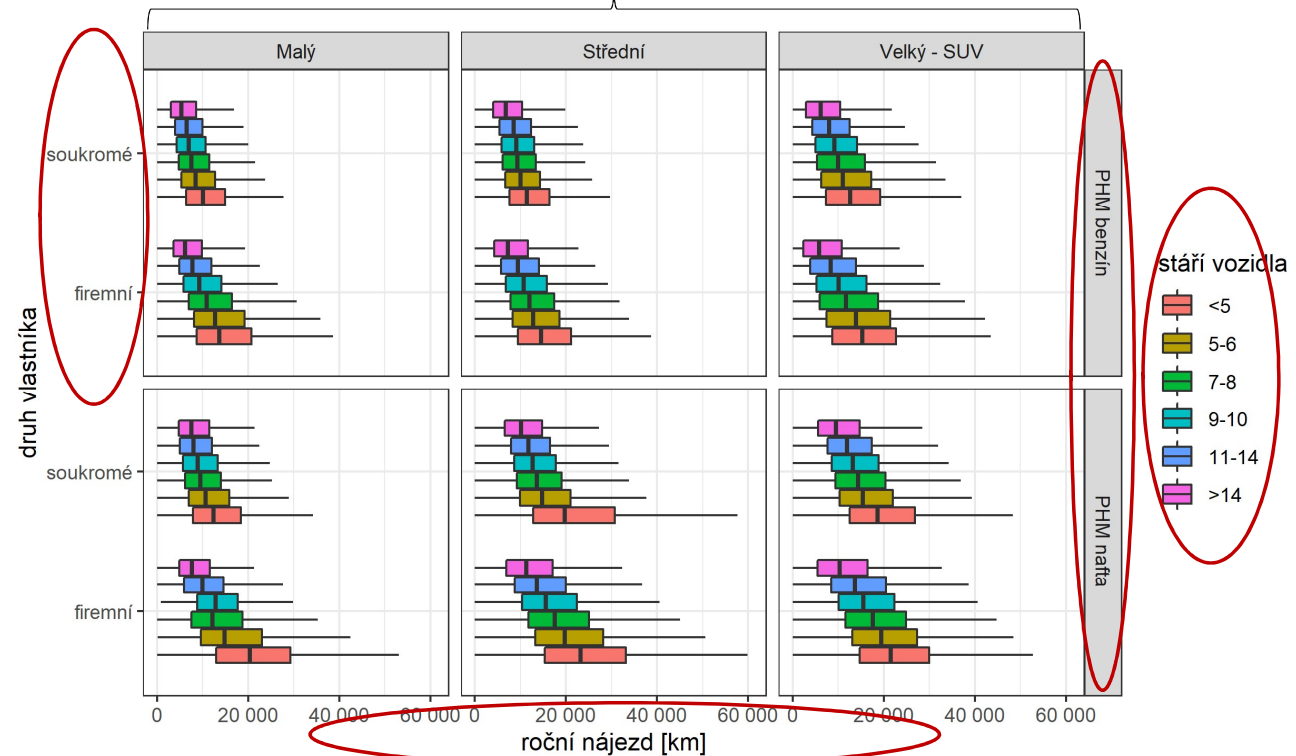
# roční kilometrické nájezdy podle paliva, velikosti, vlastnictví a stáří

s velikostí auta roste průměrný roční kilometrický nájezd

novější dieselová auta mají typicky výrazně vyšší roční nájezdy než benzínová

nová firemní auta mají typicky vyšší kilometrické nájezdy než soukromá (až o 20 %)

se stářím auta kilometrické nájezdy klesají, výrazněji přitom u firemních aut



# Volba dopravního módu

- empirické šetření (n=3466) na populaci z 13 aglomerací / metropolitních oblastí ČR
- cíl zjistit ochotu změnit dopravní mód, primárně od IAD k alternativám
- výběrový experiment na opakovanou hypotetickou volbu módu pro cestu s podobnými parametry jako poslední cesta do práce/školy s manipulovanými úrovněmi nákladů cesty či jiného parametru v jednotlivých volbách (počet přestupu, interval)

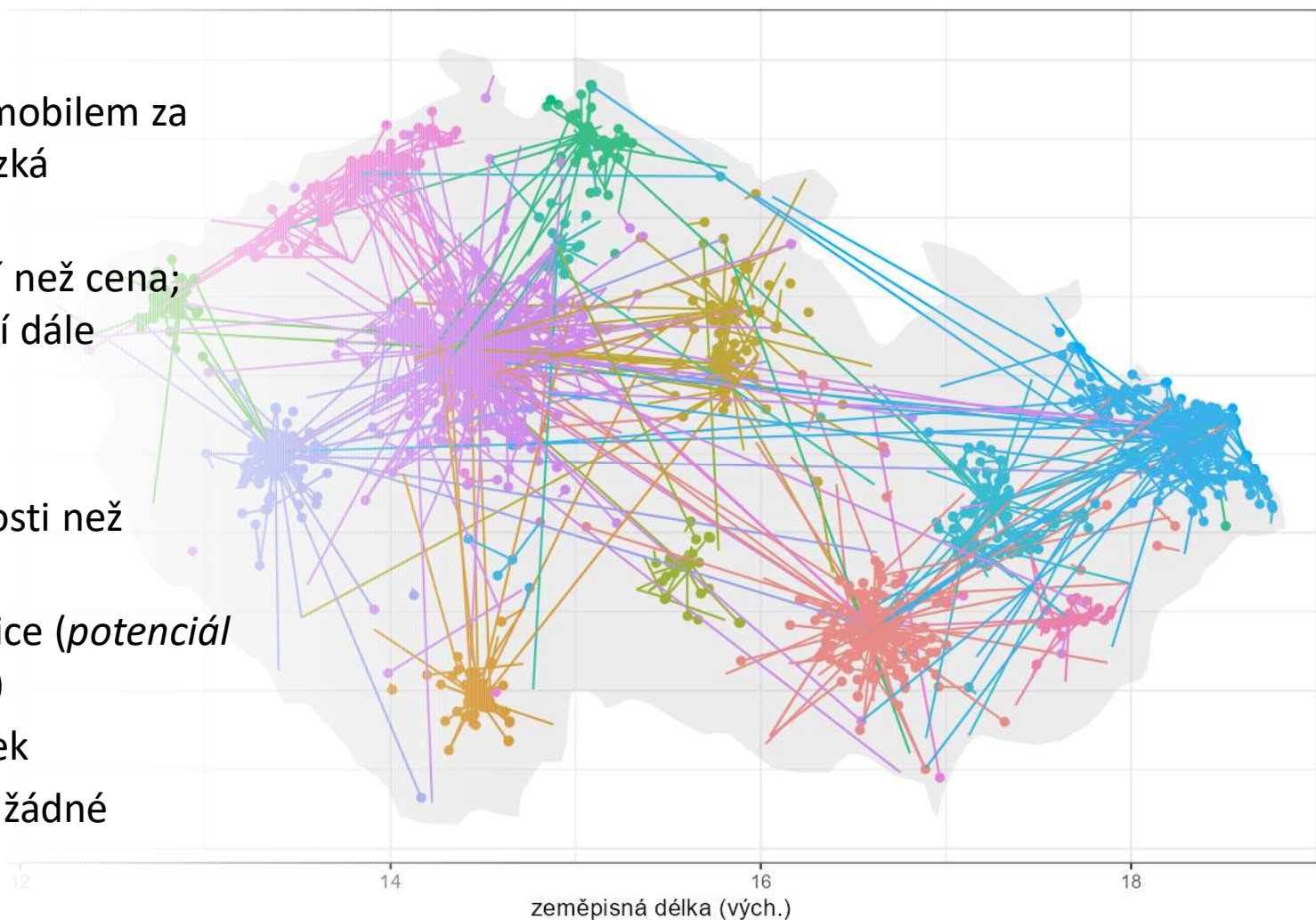
volba mezi alternativními dopravními módy:

- pěšky či na kole,
- veřejnou dopravou,
- autem,
- car-sharingem,
- běžným nebo alternativním taxi
- kombinací auta a VHD, VHD a car-sharingu, VHD a taxi, VHD a kola

Volba 3/8	Veřejná doprava	Veřejná doprava + auto	Veřejná doprava + taxi	Auto	Alternativní či běžné taxi
Cestovní náklady	10 Kč	58 Kč z toho 13 Kč veřejná doprava	453 Kč z toho 0 Kč veřejná doprava	204 Kč	1699 Kč
Celková doba cesty	69 min.	86 min.	47 min.	53 min.	42 min.
<ul style="list-style-type: none"><li>• z toho cesta k a od dopravního prostředku / čas hledání parkovacího místa / čas v dopravní zácpě</li></ul>	10 min.	30 min.	5 min.	15 min.	10 min.
Počet přestupů	1	2	1		
Interval	8 min.	20 min.	5 min.		
Vaše volba	<input type="button" value="vybrat"/>	<input type="button" value="vybrat"/>	<input type="button" value="vybrat"/>	<input type="button" value="vybrat"/>	<input type="button" value="vybrat"/>

# Volba dopravního módu

- ochota nahradit cestování automobilem za dostupné alternativy je velmi nízká (neelastická)
  - trvání cesty často důležitější než cena; přestupy a čekání na spojení dále znevýhodňují VHD
- možnosti snížení cest autem:
  - u VHD spíš zvýšením dostupnosti než snížením cen alternativ
  - zvýšení dostupnosti home-office (*potenciál i u těch, kteří tu možnost mají*)
  - zvýšení dostupnosti cyklostezek
  - ¼ respondentů ale nepomůže žádné opatření





---

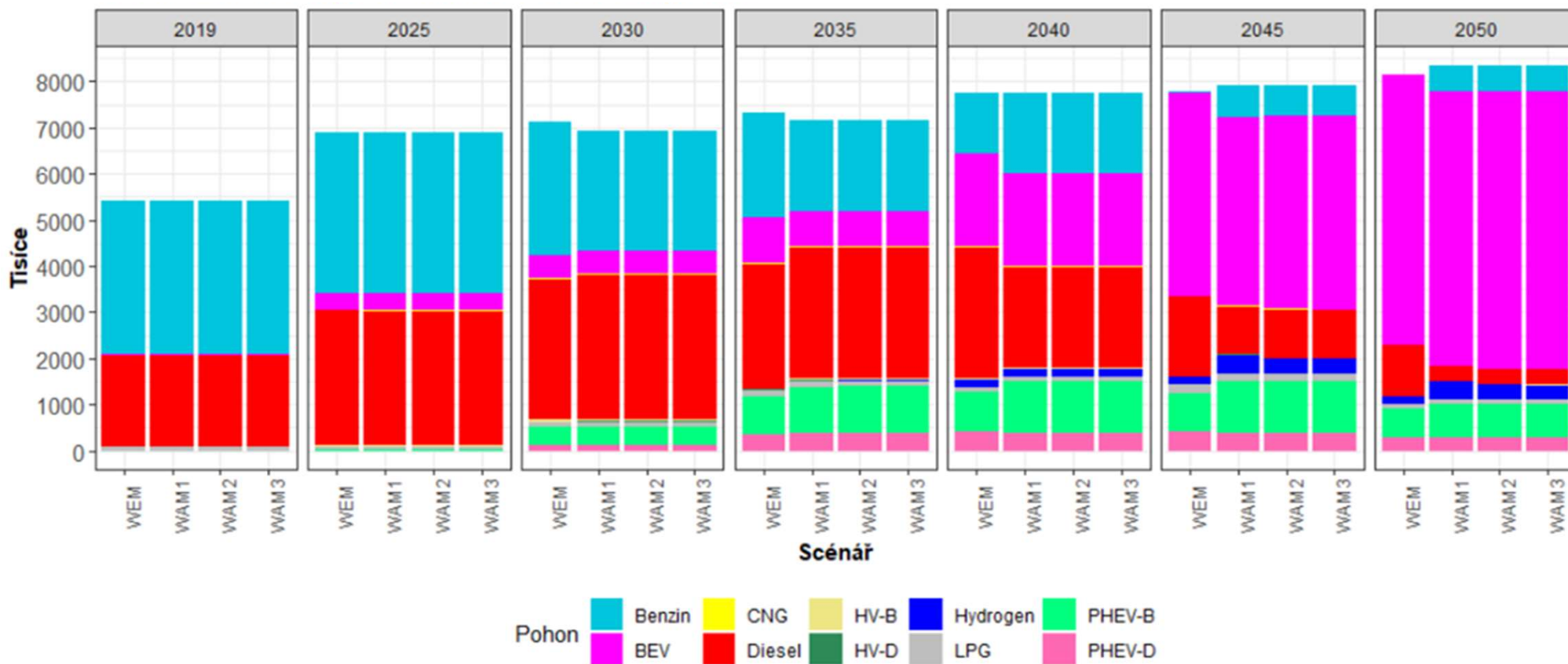
# NKEP scénáře & výsledky



# NKEP scénáře

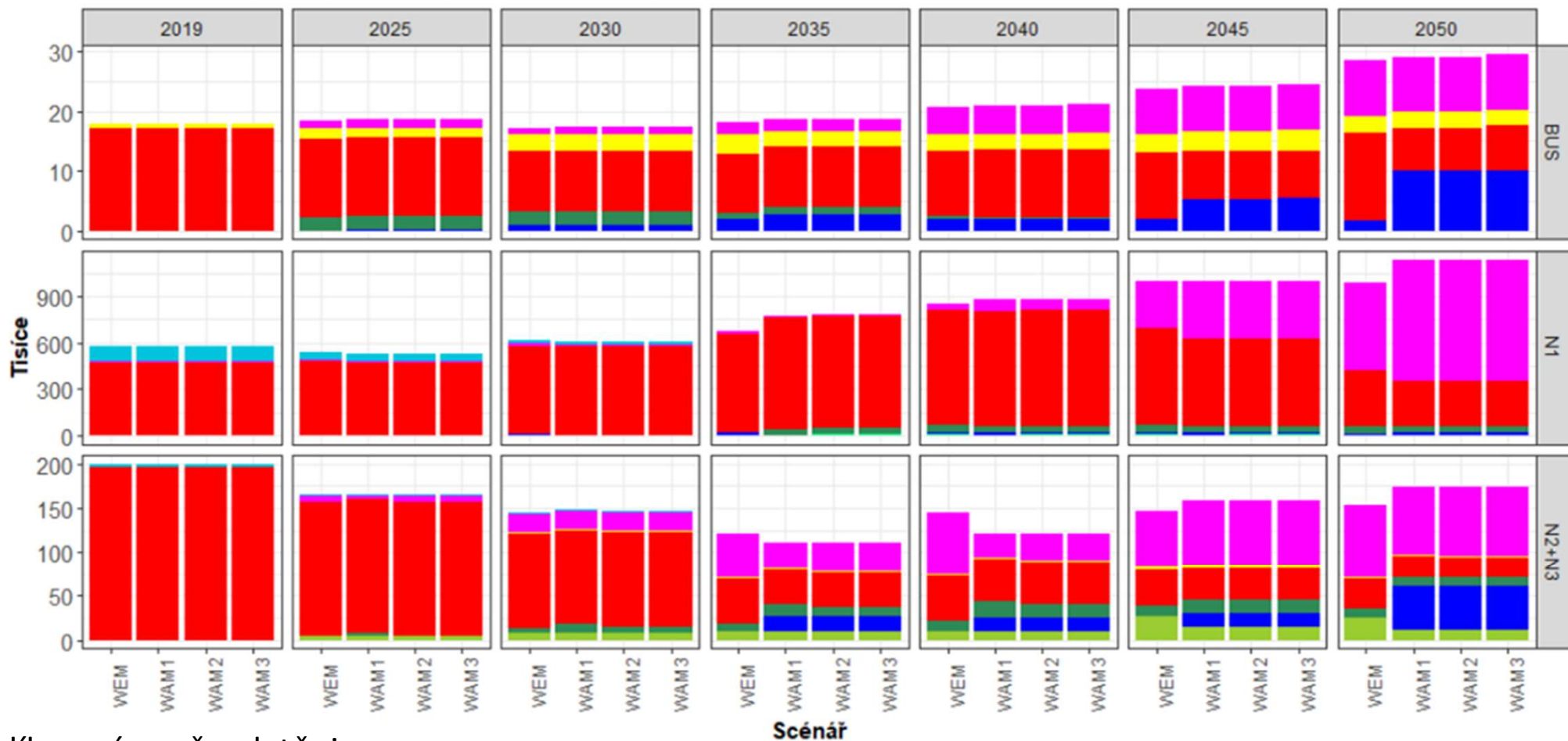
- WEM a WAM scénář
- **WAM vs. WEM v dopravě:**
  - zavedení separátního systému emisního obchodování (ETS2) pro silniční dopravu
  - nové/zpřísněné cíle směrnice o podpoře obnovitelných zdrojů (REDIII)
  - ukončení prodeje nových osobních a malých nákladních vozidel se spalovacím motorem (ICE) rokem 2035
  - minimální podíl čistých/nízkoemisních autobusů ve veřejné dopravě

## Struktura vozového parku osobních automobilů

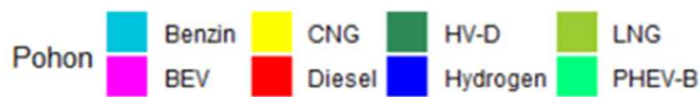


- pozvolný nástup elektrifikovaných vozidel; model nejdříve odstavuje benzínová OA (a zejm. ve WEM)
- v roce 2050 cca 6 mil. BEV, FCEV jen 300 tis. (a stále ještě ~550 tis. benzínových a 300 tis. dieselových OA)

## Struktura vozového parku ostatních silničních vozidel podle paliva/pohonu



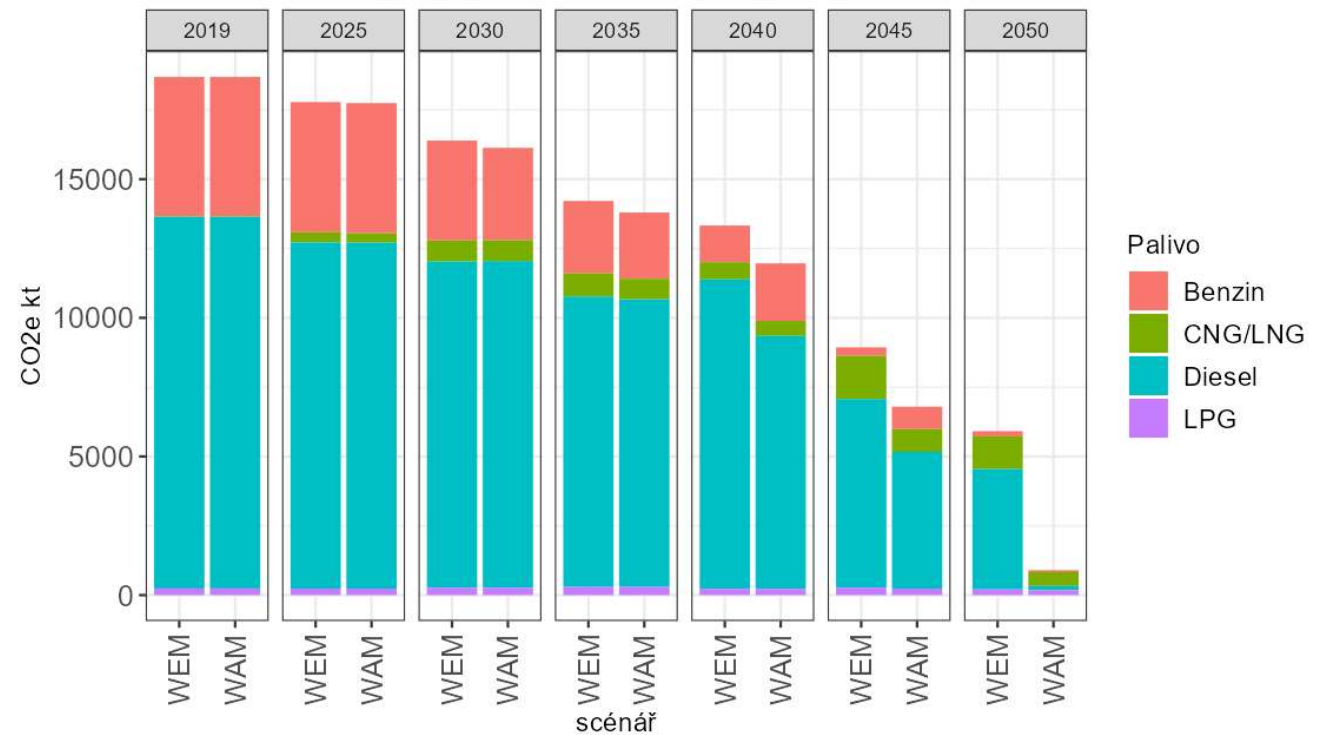
- vodík se výrazně uplatňuje v autobusové (dálkové) a těžké nákladní dopravě, jinak dominují BEV



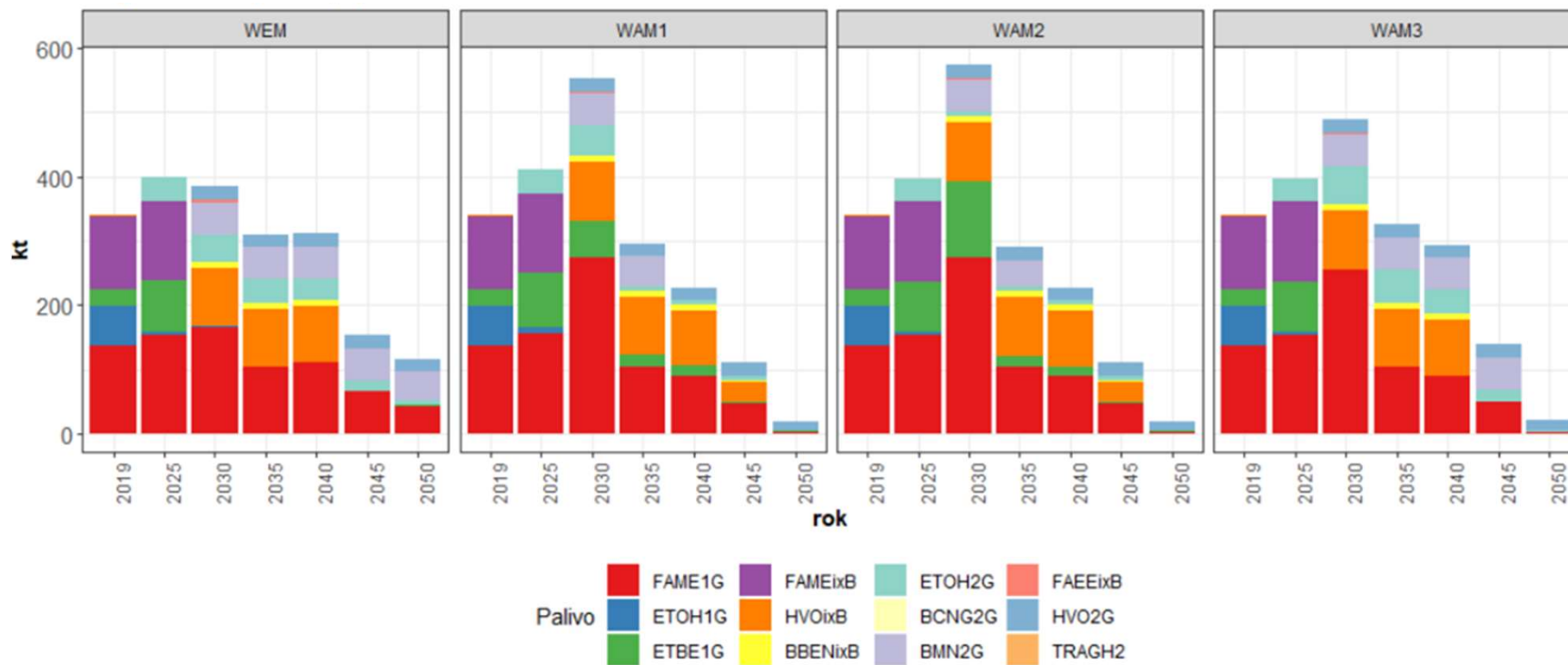
# Emise CO<sub>2</sub> ze silniční dopravy

- do 2030 -14% (WAM) | -12% (WEM)
- do 2050 -95 % (WAM) | -68 % (WEM)
- přesun emisní stopy do upstreamu (výroba elektřiny/vodíku)

Emise skleníkových plynů z silniční dopravy dle paliva



## Biopaliva v dopravě (kt)



- využití biopaliv roste do 2030 (splnění cílů REDIII), poté již dominuje přechod na elektřinu
- dlouho se uplatňují biopaliva z plodin a z odpadních olejů IX/B (nejvíc nákladově efektivní)



# Další směry rozvoje modelování dopravy

## TIMES-CZ:

- dokončit implementaci volby módu
- rozlišení firemních a soukromých vozidel
- rozlišení krátkých (pří/městských) a dlouhých cest
- podrobnější reprezentace dalších módů (mj. letectví a uplatnění SAF; elektrifikace a konverze na železnici)

## obecně:

- akutní potřeba rozvíjet modelování poptávky
- konzistentně vyřešit problém „ghost cars“ – registrována v RSV, ale nejezdí na TK (jen u OA se týká >0,5 mil. vozidel)

# Děkuji za pozornost

[vojtech.maca@czp.cuni.cz](mailto:vojtech.maca@czp.cuni.cz)

T  
A  
Č  
R

Tento projekt SS04030013 Centrum socio-ekonomického výzkumu dopadů environmentálních politik je financován se státní podporou Technologické agentury ČR a Ministerstva životního prostředí ČR v rámci Programu Prostředí pro život..

[www.tacr.cz](http://www.tacr.cz)

[www.mzp.cz](http://www.mzp.cz)