



**ČVUT**  
ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE



# ELEKTROMOBILITA

**Jan Macek**

**ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Centrum vozidel  
udržitelné mobility**

**[jan.macek@fs.cvut.cz](mailto:jan.macek@fs.cvut.cz)**

**<https://www.cvum.eu>**

**<https://realisticka.cz>**

**LŠ VŠCHT v Praze**

**23.08.2022**

# Motto

**Švarcenberský ovčák, Štěkno u Putimi:**

**... A lidi si ty vojny zasloužili ... Už jim ani to skopový maso nešlo pod fousy ... a voni zas přijdou k sobě, až budou si vařit lebedu.**

**Dyť vona i ta naše vrchnost už roupama nevěděla co dělat. Starej kníže pán Švarcenberk, ten jezdil jen v takovém kočáře, a ten mladej knížecí smrkáč smrdí samým antomobilem. Von mu pánbůh taky ten benzín vomaže vo hubu.**

**Švejk, Jaroslav Hašek**

# Na úvod – vymezení tématu

- Budeme srovnávat řešení budoucích osobních automobilů, a to z hlediska uživatelů, výrobců, společnosti a státu.
- Úplná křížově kontrolovaná data (oficiální statistika, STK atd.) máme zatím pro rok 2016. **Účinnosti vozidel a kapacity baterií jsou výsledkem vlastních simulací a křížové kontroly a jsou aktuální stejně jako data o energetické spotřebě v ČR.** Omezíme se na klasická vozidla, hybridy a bateriová elektrická vozidla (BEV), z časových důvodů ne vodík. **Všude používáme data posunutá ve prospěch elektromobility!**
- **Nemáme prostor probrat další vozidla pro kombinovanou mobilitu (individuální a hromadná doprava osob spolu se sdílením vozidel) ani pro dopravu nákladů v místě nebo na dlouhé vzdálenosti.**
- **Totéž se týká koncepcí mobility (individuální, kombinovaná včetně sdílení vozidel, hromadná a virtuální), což nesouvisí přímo s elektrifikací.**
- **Ani nebudeme mluvit o autonomním řízení vozidel, často spojovaným s jejich sdílením (i když to není nutné) a elektrifikací (která tu není podmínkou).**

# Obsah

- Úvod – motivace
- Principy
  - Transformace a ukládání primárního zdroje energie; Tank-To-Wheel TTW a Well-To-Wheel WTW hodnocení; Life Cycle Analysis LCA
  - Jízdní odpory
  - Dráhová spotřeba energie pro různá vozidla
  - Hnací jednotky – účinnosti – a uložení energie na vozidle
    - Uhlovodíková paliva
    - Vodík
    - Elektřina - akumulátorové baterie
- Dráhová spotřeba energie a emise skleníkových plynů – příklady výsledků
- Dopady na výrobce, stát a celou společnost



**ČVUT**  
ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE

# Odhady vlivu emisí skleníkových plynů na oteplování atmosféry a antropogenního podílu jsou velice komplikované, což odráží i 6. zpráva IPCC

## Předběžná opatrnost je i tady namístě

Source: PhD. Thesis,

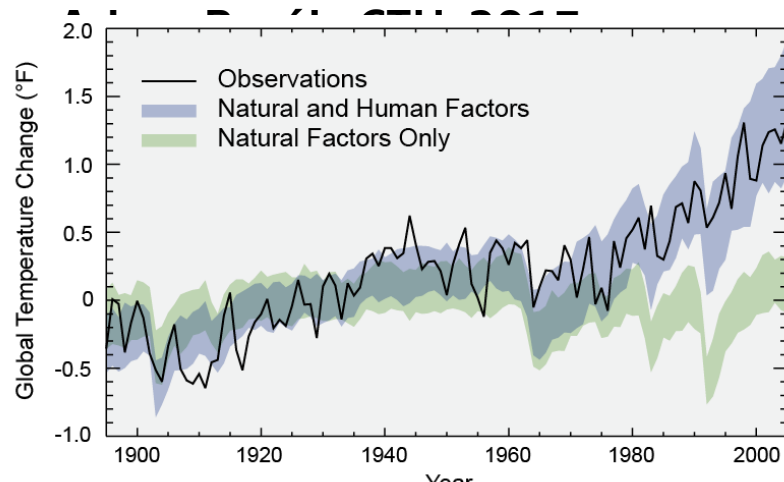
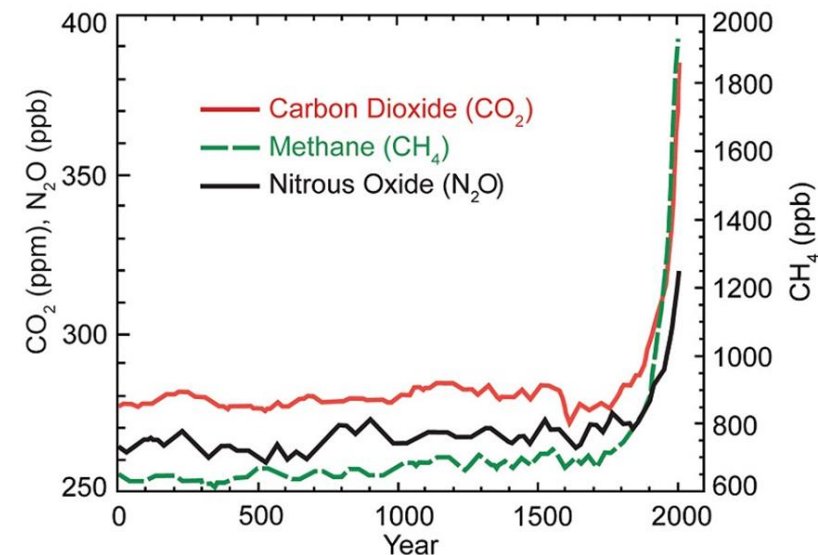
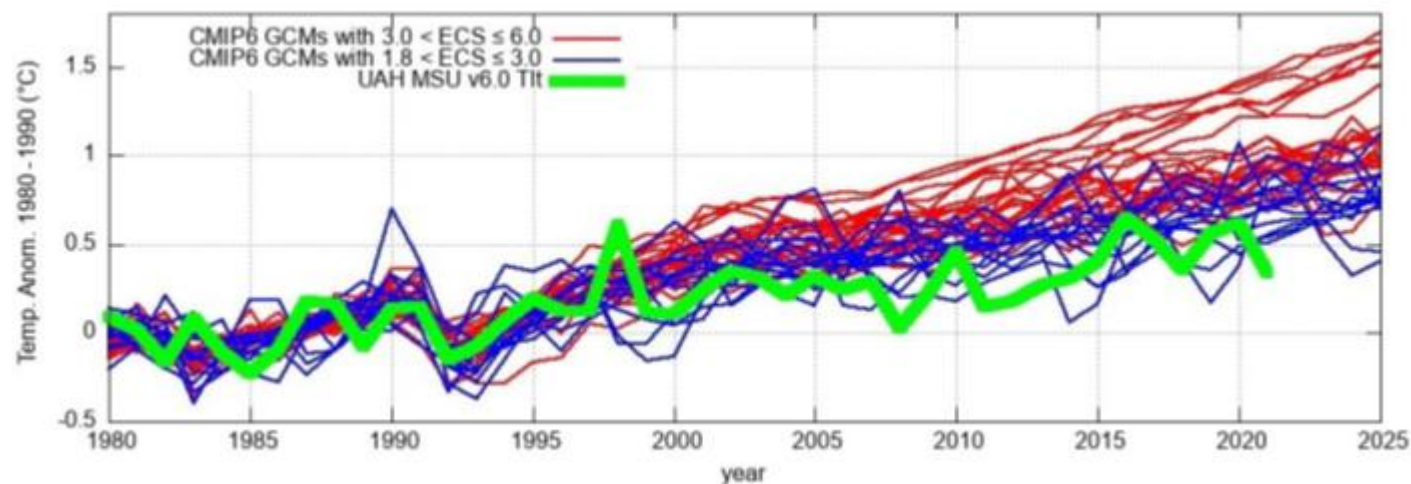


Figure 2-4 - Increase in greenhouse gas concentrations in the atmosphere over the last 2000 years

Source: National Climate Assessment [8]

Figure 2-3 - Separating Human and Natural Influences on Climate

Source: National Climate Assessment [8]



WALSH, J. et al. Ch. 2: Our Changing Climate. In: *Climate Change Impacts in the United States: The Third National Climate Assessment*. U.S. Global Change Research Program, 2014, s. 19-67.

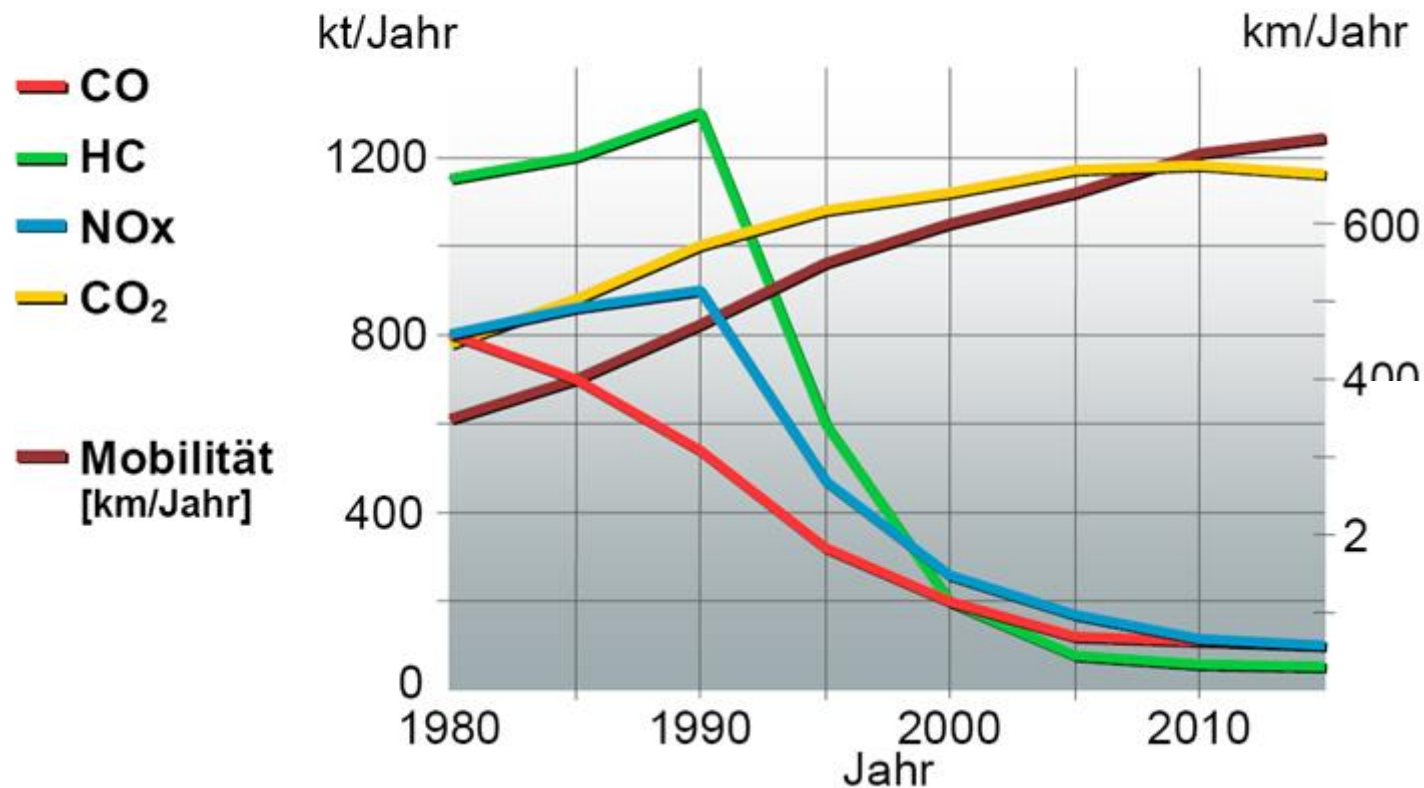
COLE, S. a E. GRAY. New NASA Satellite Maps Show Human Fingerprint on Global Air Quality. In: *NASA* [online]. 2014 [cit. 2016-12]. RELEASE 15-233

EPA US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Clean Air Act Text. In: *US Environmental Protection Agency* [online]. 2016 [cit. 9-2016]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/clean-air-act-overview/clean-air-act-text>

Scafetta, N. Testing the CMIP6 GCM Simulations versus Surface Temperature Records from 1980–1990 to 2011–2021: High ECS (Equilibrium Climate Sensitivity) Is Not Supported. *Climate* **2021**, 9, 161. <https://doi.org/10.3390/cli9110161>

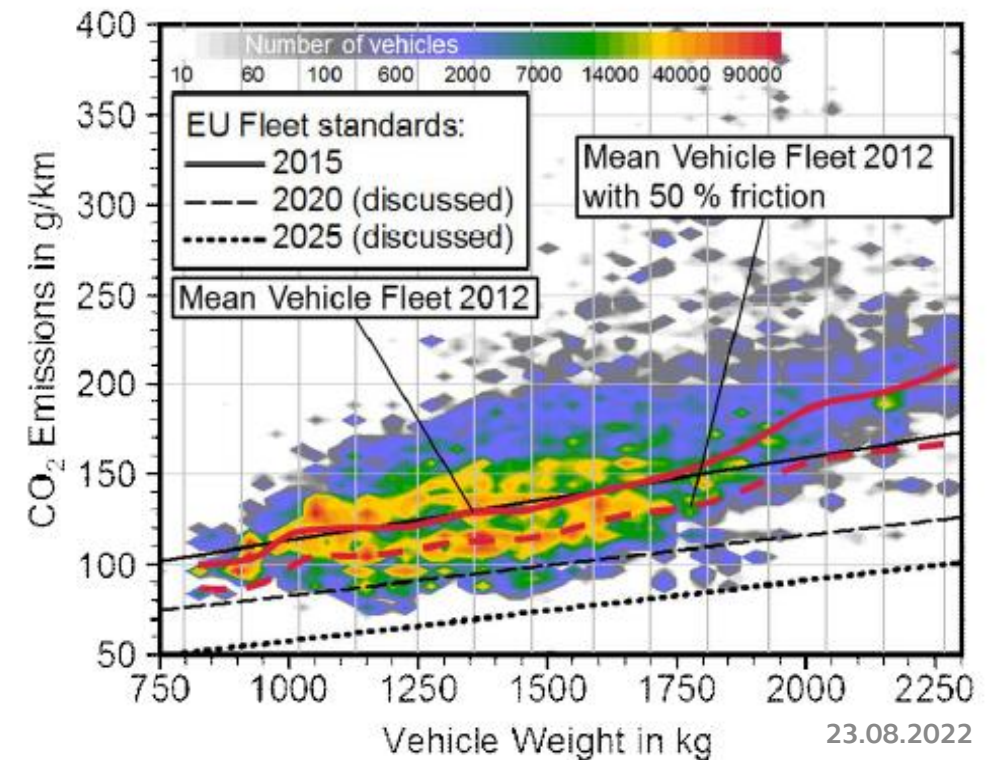
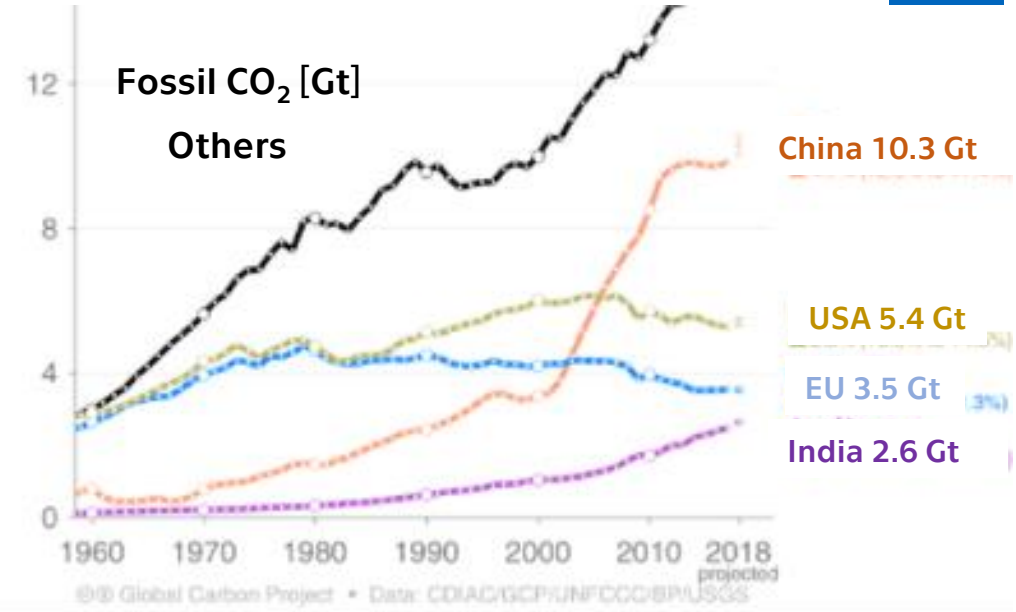


# Entwicklung der Abgasemissionen bei PKW in Deutschland

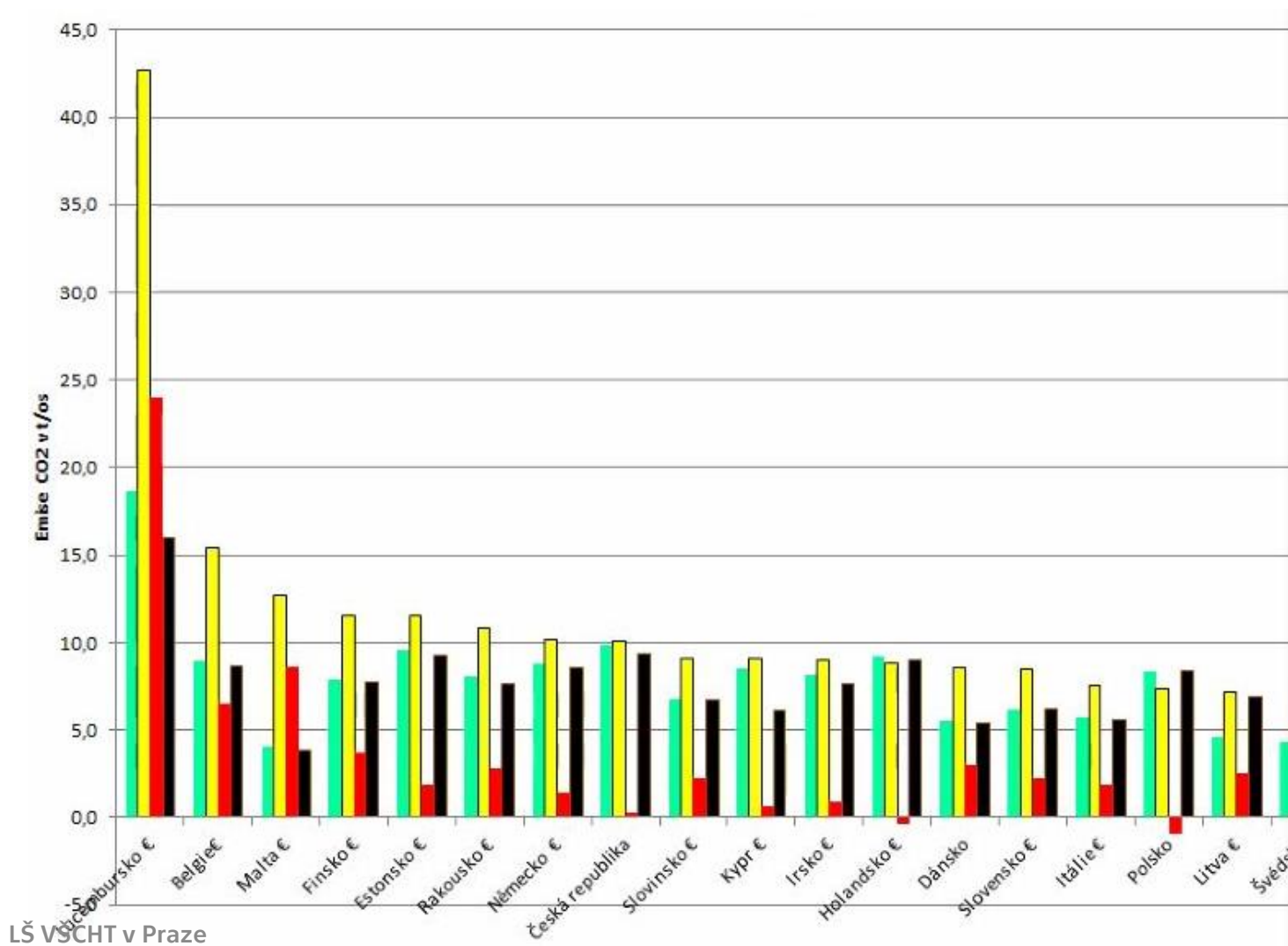


FEV – SIA 2014

Trend v CO<sub>2</sub> emisích – mírné přirozené snižování a závislost na hmotnosti vozidla.



# Měrné emise CO<sub>2</sub> z výroby energie včetně tepla ve vybraných evropských zemích: z výroby, ze spotřeby a z dovozu



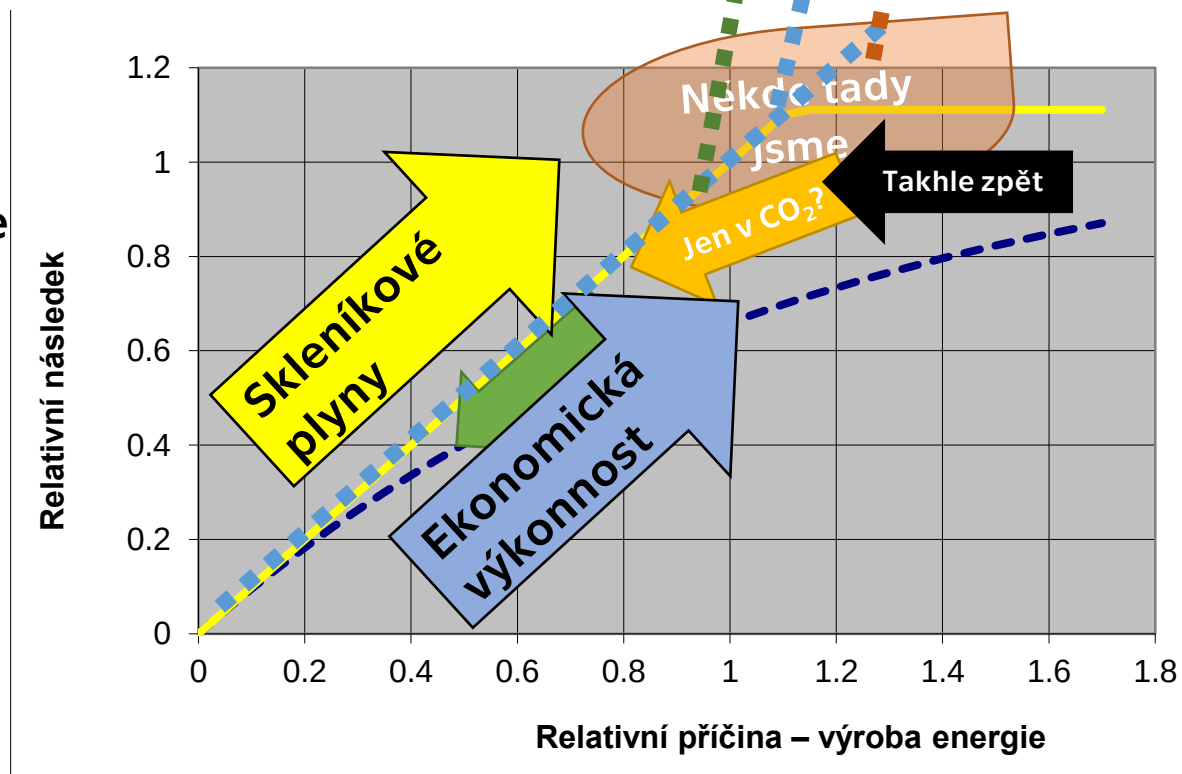
| Rok  | t CO <sub>2</sub> /MWh |
|------|------------------------|
| 2010 | 0,554                  |
| 2011 | 0,541                  |
| 2012 | 0,506                  |
| 2013 | 0,477                  |
| 2014 | 0,480                  |
| 2015 | 0,493                  |
| 2016 | 0,499                  |
| 2017 | 0,472                  |
| 2018 | 0,466                  |
| 2019 | 0,428                  |

# Proč dělat revoluci v mobilitě a kolik to bude stát?

**Vše proti klimatickým změnám? Pozor na nelineární změny! Velké nebezpečí z predikce.**

- Důsledky **nerovnoměrného nasycení v úrovni ekonomiky**: Závislost HDP na spotřebě energie i intenzity mobility – mez dosažena v EU i USA, ale ne jinde (Jižní Amerika, východní Asie - Čína, Indie, Afrika, ...).
- Závislost absorpce tepelného záření odraženého od Země na obsahu  $\text{CO}_2$ . Závisí na součinu koncentrace a tloušťky vrstvy absorbujícího média exponenciálně (Lambert-Beer) – i tady vzniká **nasycení**, tentokrát schopnosti **absorpce**.
- Dvojí nasycení přináší v kombinaci nerovnoměrného vývoje velké problémy: růst emise skleníkových plynů z méně rozvinutých lidnatých oblastí a malá účinnost snižování emise z rozvinutých zemí.

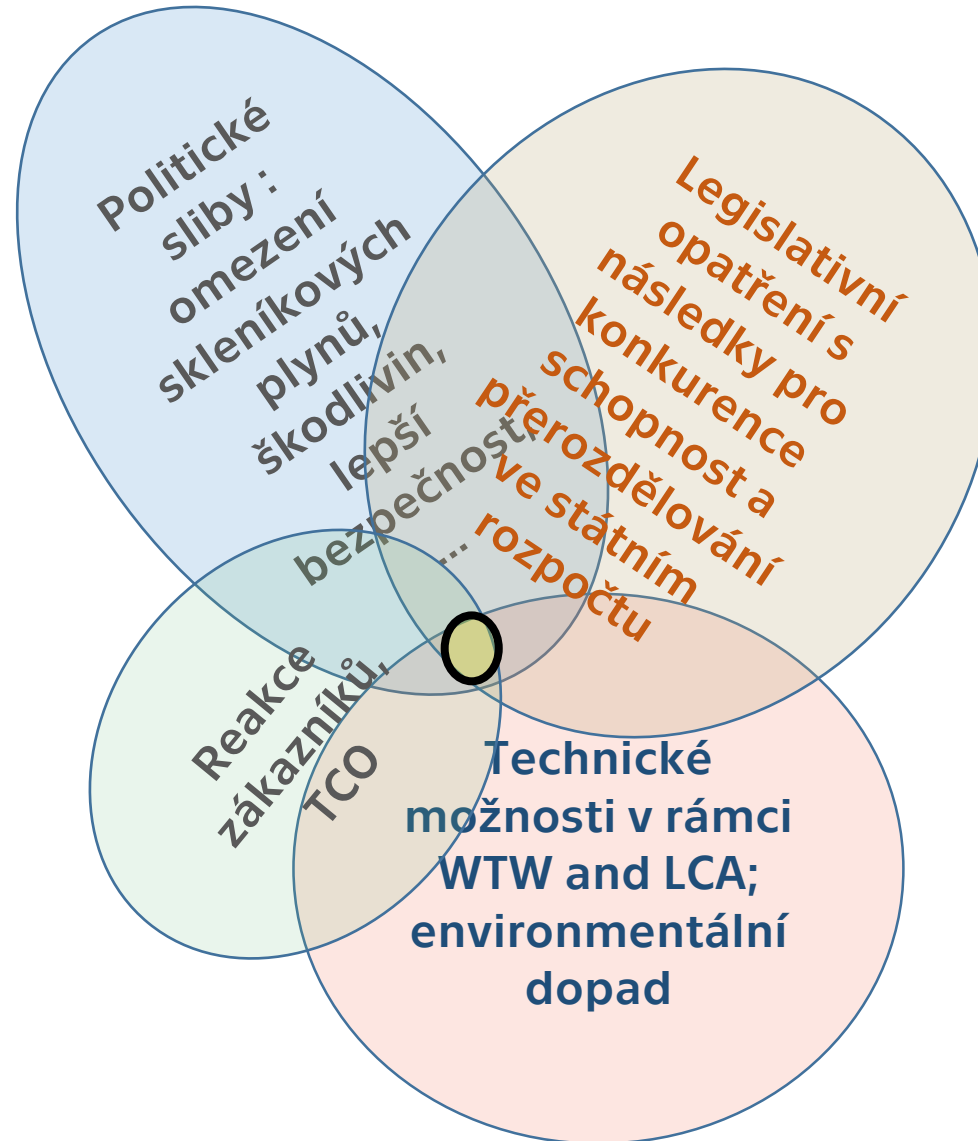
**Volíme mezi riziky ve vývoji klimatu a ekonomiky. Je to na dlouhou dobu a s nejistým výsledkem.**



Evropa jde „snadnou“ cestou – direktivní omezení individuální pozemní mobility i emisně obtížného průmyslu i zemědělství. Možný důsledek: likvidace průmyslu (včetně výroby vozidel) a závislost na méně environmentálně orientovaných částech světa.



# Motivace ke změnám systému mobility a její možnosti



# Principy – využití primárního zdroje energie $WTW = WTT + TTW$ (Evropa), ale lépe C2G v LCA (USA)

- Nutno posuzovat **Well-to-Tank a Tank-to-Wheel** (tj. od primárního zdroje energie) – WTT, TTW, WTW, ale také v rámci „cyklické ekonomiky“ Cradle-to-Grave (or Recycling) = Life Cycle Analysis.
- Syntetické nosiče energie spotřebovávají primární energii a suroviny na svou výrobu a distribuci, a to jak **přímo (elektřina a teplo)**
  - biopaliva – pěstování, chemické ošetření, sklizeň, extrakce a chemická úprava – elektřina a teplo,
  - vodík – elektrolýza nebo parní konverze metanu,
  - Fischer-Tropsch syntéza HC z CO a  $H_2$
  - metanizace  $H_2$
  - $CH_3-OH$  a  $CH_3-O-CH_3$
  - Haber-Bosch  $NH_3$ ,
- ale také **nepřímo**, formou podílu na surovinové a energetické spotřebě při výrobě samotného „sběrače“ obnovitelné energie – Si pro fotovoltaiku, kovy a kompozity pro větrné elektrárny, materiály pro jaderné elektrárny atp. i pro samotné vozidlo - Li pro baterie atp. Nepřímé spotřeby nutno rozpočítat na životnost příslušného dílu ve formě  $CO_2$  skleníkového ekvivalentu nebo v peněžních částkách.
- V dopadech na životní prostředí nutno porovnávat podle **podílu na škodlivosti pro zdraví** (lidí, živočichů, rostlin, ...) – většinou **lokálně** a vlivu na **skleníkový efekt (globálně)**, a to s pozadím, produkovaným přírodou a dalšími odvětvími lidské činnosti.



ČVUT  
ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE

# Principy – jízdní odpory

- Trakční síla na kolech

$$F_{wheel} \doteq (m_{veh,curb} + m_{load}) (K_{roll} + A) + K_D w_{wheel}^2$$

- Pohotovostní hmotnost vozidla  $m_{veh,curb}$  závisí na hmotnosti karosérie, podvozku, **zásobníku energie a hnací jednotky**

- V podrobnostech

$$F_{wheel} = (m_{veh,curb} + m_{load}) \left[ g \sin \alpha_{slope} + a \frac{m_{veh,curb} + m_{load} + m_{red,rot}}{m_{veh,curb} + m_{load}} + f_{roll} g \cos \alpha_{slope} \right] + \frac{S_D C_D}{2} \rho_{air} |w_{wheel} - w_{wind}| (w_{wheel} - w_{wind})$$



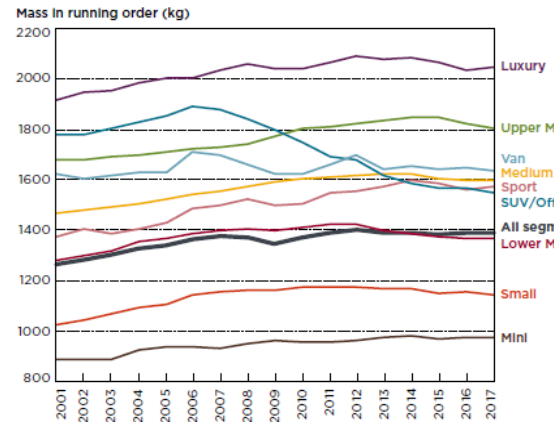
ČVUT  
ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE

# Principy – hmotnost vozidel

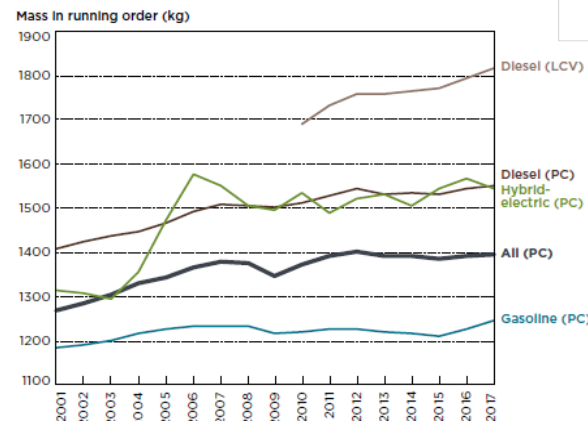
## Pohotovostní hmotnost a užitečné zatížení pro vozidla se SM

- Pohotovostní hmotnost je nutno pro alternativní hnací jednotky upravit (většinou zvýšit) podle typu pohonu (vznětový motor těžší než zážehový, elektropohon o málo lehčí, FC těžší), o hmotnost zásobníku podle dojezdu (zejména tlakového nebo tepelně izolačního obalu pro plyny, baterie) a hmotnost druhého pohonu a zásobníku pro hybridy.

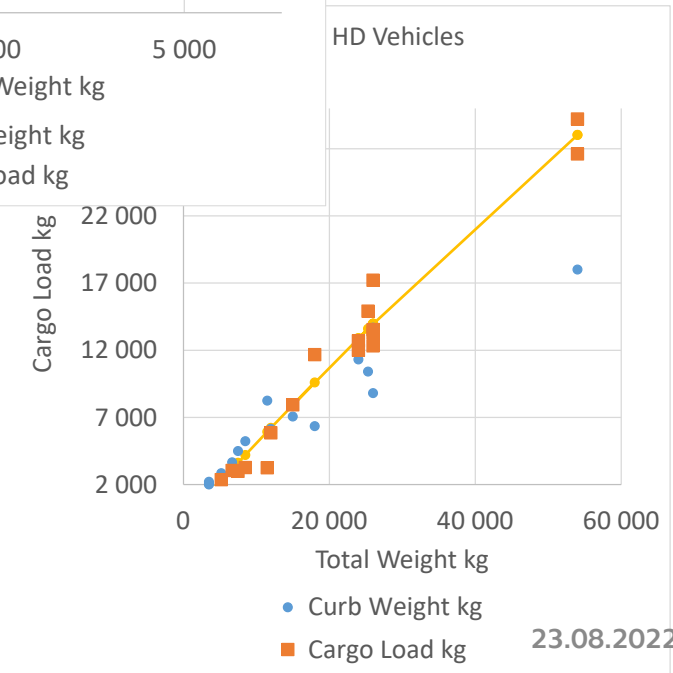
- Užitečné zatížení je průměrně 1.3 osoby pro osobní vozidla, jinak záleží na využití celkové užitečné hmotnosti u autobusů, dodávek a dálkových nákladních automobilů.



Source: [www.theICCT.org/publications](http://www.theICCT.org/publications)



New vehicles:  
Vehicle mass in running order by type of vehicle and engine technology



# Principy: Dráhová spotřeba energie

- Dráhovou spotřebu energie TTW lze jednotně vyjadřovat v kWh/100 km (10 kWh = téměř přesně 1 l motorové nafty bez zvažení rozdílné účinnosti využití, zhruba 0.25 l při zvažení různých účinností SM a BEV)
- Pro dráhovou spotřebu TTW platí

$$E_{road} = \frac{1}{36s_{tot}} \int_{s_{tot}} \frac{dW_{wheel}}{\eta_{trans}\eta_{PM}\eta_{stor}} = \frac{1}{36s_{tot}} \int_{s_{tot}} \frac{F_{wheel} ds_{wheel}}{\eta_{trans}\eta_{PM}\eta_{stor}} \left[ kWh / 100 km \right]$$

$P_{rel}$

$$E_{road} \propto \frac{K_m m_{veh} + K_D W_{rep}^2}{\eta_{trans}\eta_{PM} \left\{ \begin{array}{l} SM : F_{wheel,rep} \uparrow ; W_{rep} \downarrow \\ BEV : F_{wheel,rep} \downarrow ; W_{rep} \uparrow \\ FC : F_{wheel,rep} \downarrow ; W_{rep} \updownarrow \end{array} \right\} \eta_{stor} \left\{ \begin{array}{l} SM : const. \\ BEV : F_{wheel,rep} \downarrow ; W_{rep} \downarrow \\ FC : const. \end{array} \right\}}$$



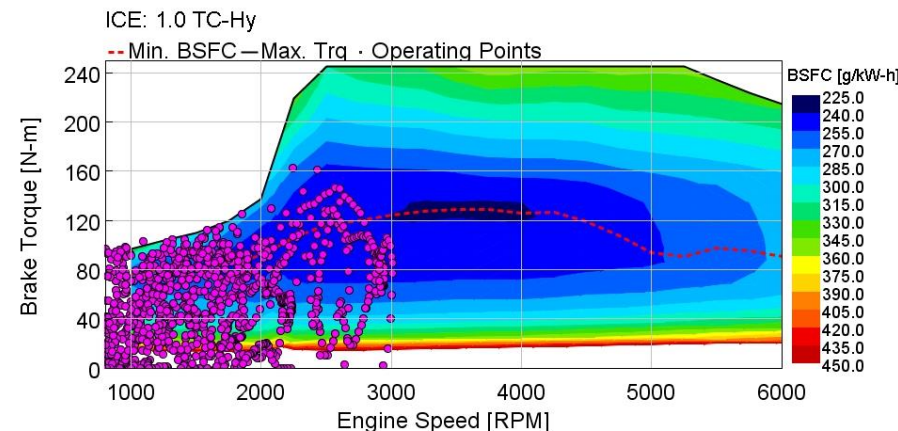
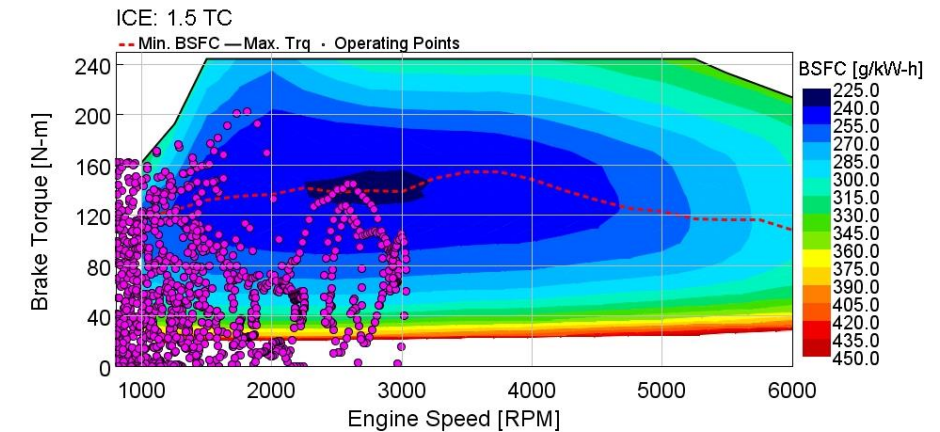
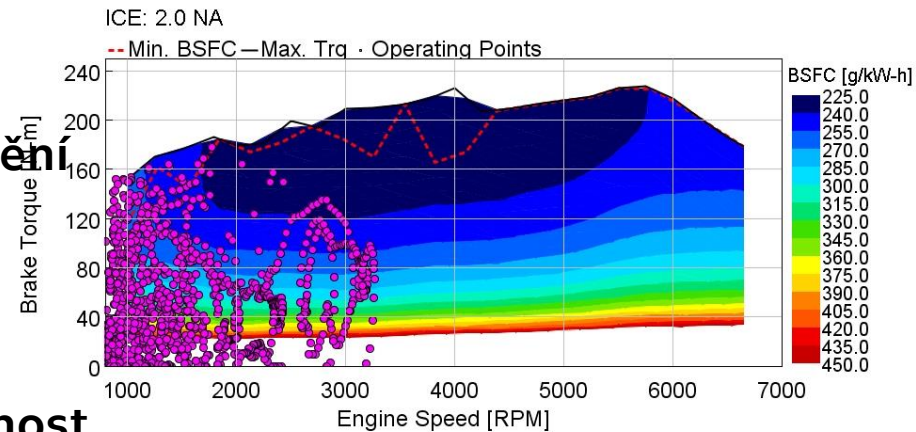
ČVUT  
ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE



# Principy – účinnost $SM=K/BSFC$

## Příklad pro zážehový motor bez a s přeplňováním

- NA ... atmosférické plnění
- TC ... přeplňování
- $BSFC [g/kWh]=$   
 $=3600/42[MJ\cdot kg]/účinnost$



| ICE Concept | FC [L/100km] | CO <sub>2</sub> [g/km] |
|-------------|--------------|------------------------|
| 2.0 NA      | 5.715        | 130.30                 |
| 1.5 TC      | 5.537        | 126.24                 |
| 1.0 TC-Hy   | 5.119        | 116.71                 |

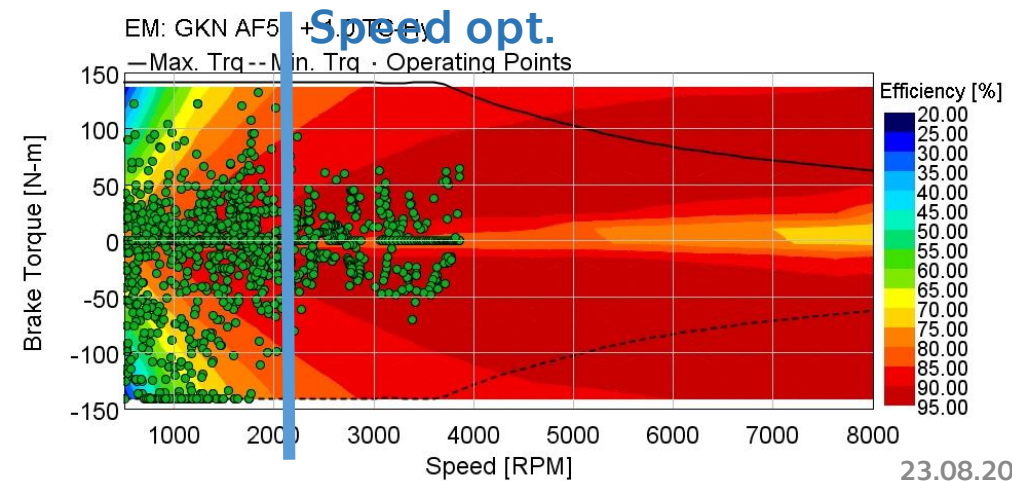
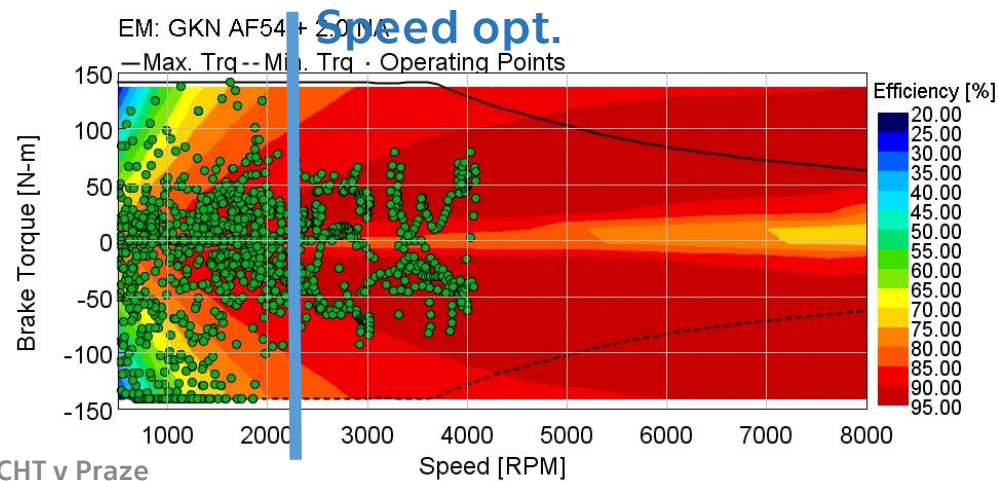
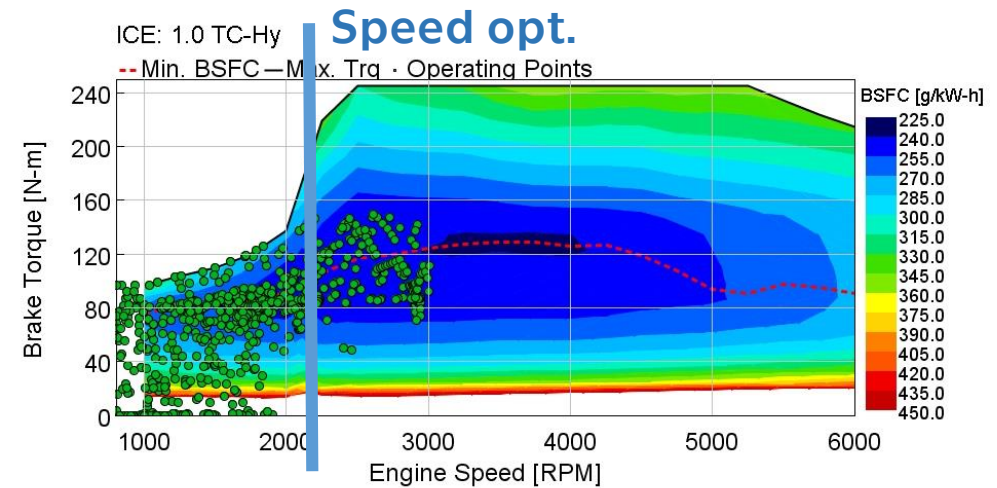
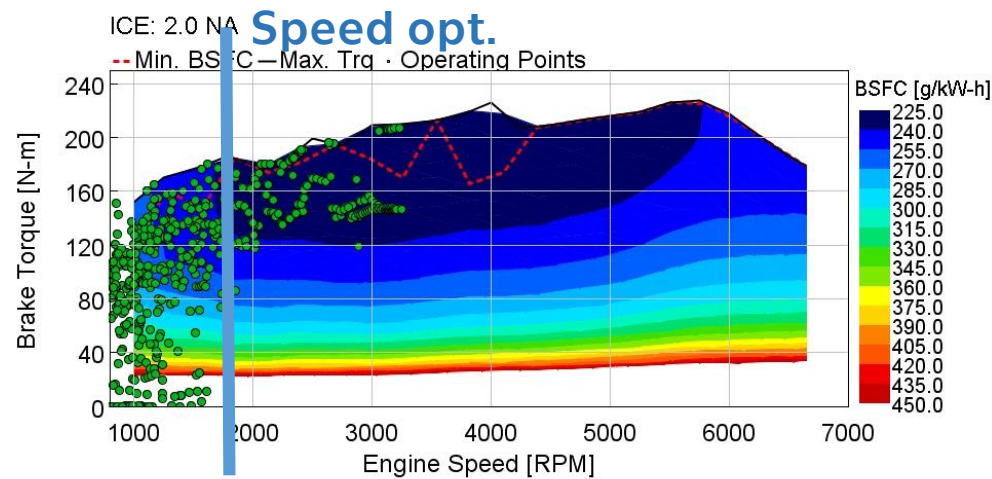
BARÁK, A. V. KLÍR a L. ČERVENKA. Powertrain Simulation Tool. Torino: SAE Technical Paper 2011-37-0027, 2011. doi:10.4271/2011-37-0027.

BARÁK, A. a V. KLÍR. Simulation of Conventional, Hybrid and Electric Vehicles in Transient Driving Cycle. In: Proceeding of the Fisita 2012 World Automotive Congress. Berlin: Springer Verlag, 2013.

Toman, R., "Parallel Plug-in HEV Topologies Evaluation Using Dynamic Programming", Lith Conference Of Czech And Slovak Combustion Engine Research, Czech Technical University in Prague 2020, pp. 220-228, ISBN 978-80-01-06744-4

# Principy – účinnost $SM=K/BSFC$

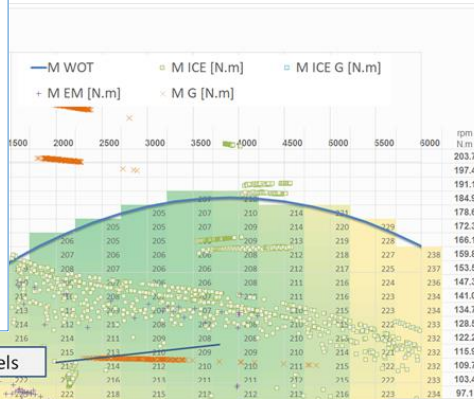
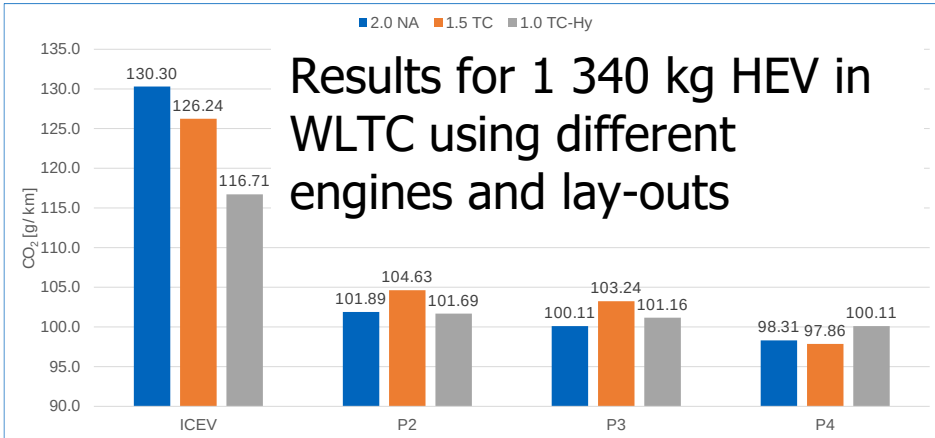
## Příklad pro zážehový motor bez a s přeplňováním v hybridu P3 a pro odpovídající elektromotor/generátor





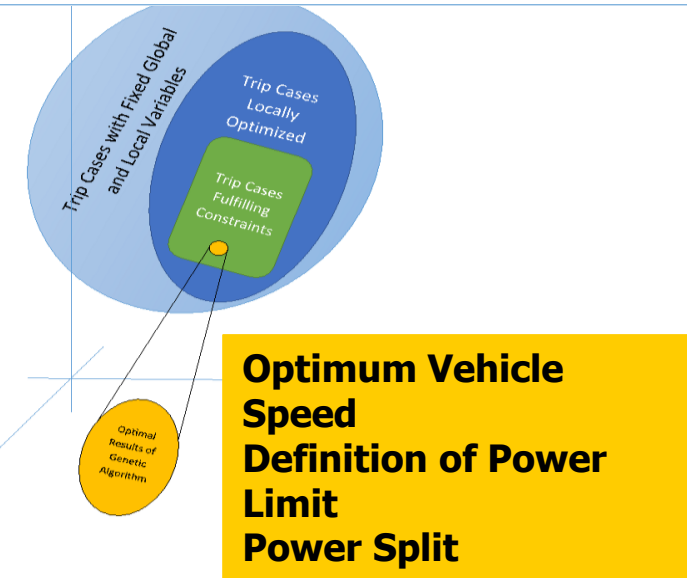
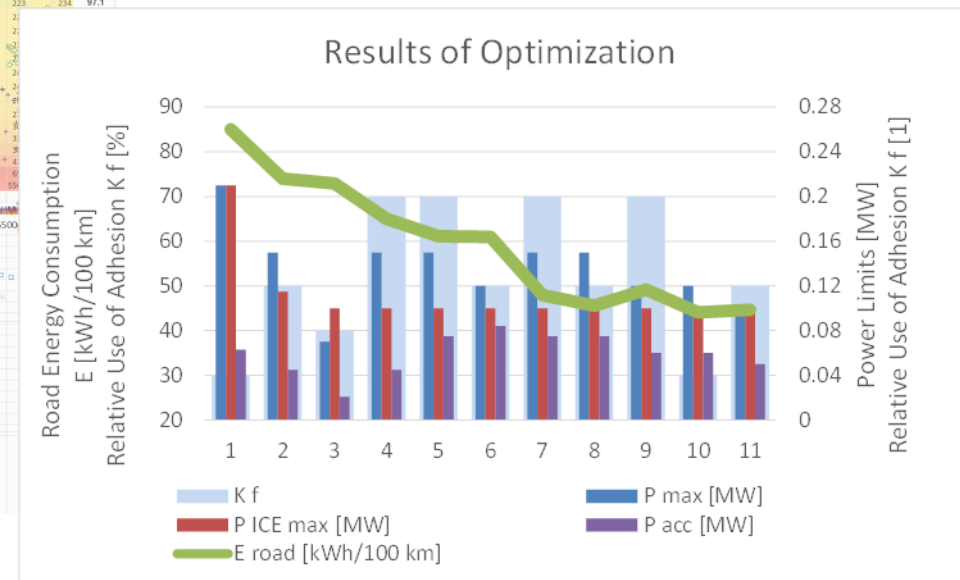
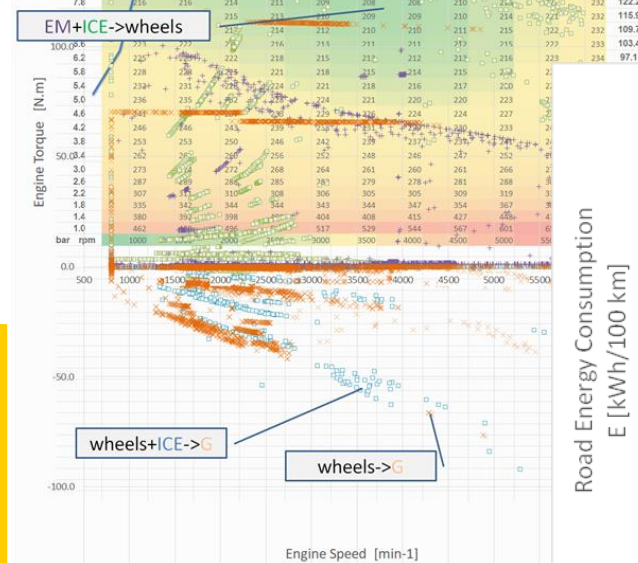
# Basic Powertrain Parameters

## Results of control for optimum power split in hybrids



Results for 2 000 kg hybrid SUV in WLTC from 80 to 45 kWh/100 km:

- optimum ICE power
- optimum gearbox and shifting
- optimum speed-distance schedule
- optimum e-horizon for prediction of charging/discharging



# Principy – využití primárního zdroje energie WTW = WTT + TTW (Evropa), ale lépe v LCA (USA)

- Obecně od primárního zdroje (těžba surovin, jejich doprava, zpracování, distribuce až na maloobchodní výdejní místo WTT se ztrátami na dopravu a uložení (stlačení, zkapalnění – pokud je nutné
- TTW ze zásobníku na vozidle až na kola včetně rekuperace mechanické energie (potenciální i kinetické – lze i bez akumulátoru elektrické energie!)
- Pro elektrická vozidla často „WTW“ od svorek výrobního generátoru s WTT včetně ztrát nabíjením (občas se zapomíná)
- Pro emise skleníkových plynů vhodnější LCA s životním cyklem výroba-provoz-recyklace/likvidace

## Efficiency of the production and use of regenerative fuels Comparison to driving with electricity directly

Assumption: 100% energy (green column) is used to:

- drive a battery electric vehicle (blue)
- to run a fuel cell vehicle with hydrogen
- to run a Diesel vehicle with synthetic Diesel

In all of these scenarios the production of the vehicle and in particular the **CO<sub>2</sub> intensive production of the battery is not included, nor is the infrastructure to produce the necessary amount of green energy !**

Glossary:

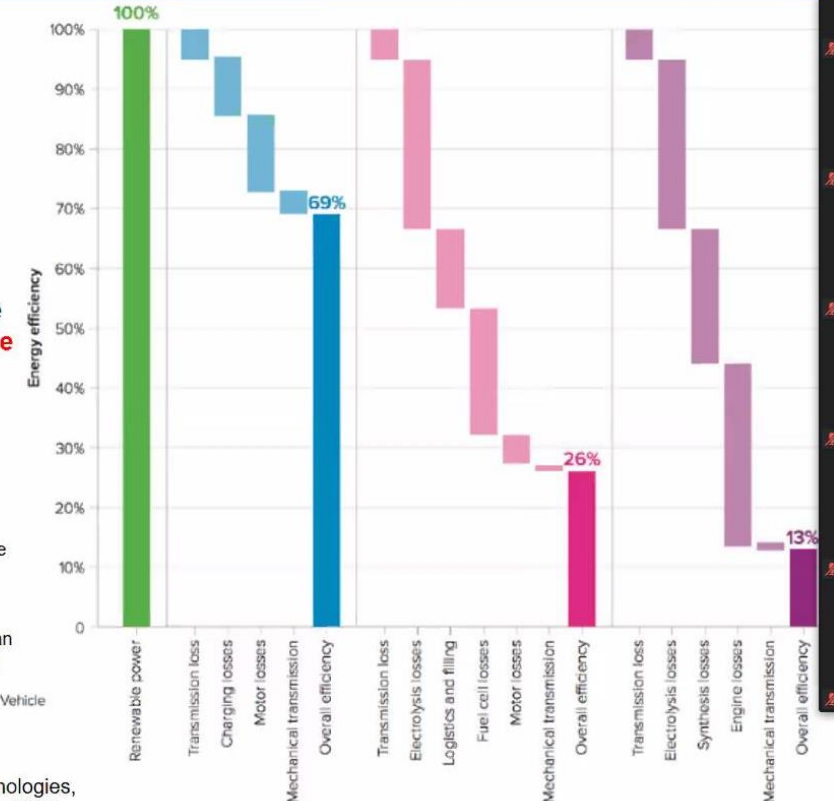
**Transmission loss** → losses in the electric Grid

**Motor losses** → losses in the electric motor, efficiency of the eMotor

**Logistics and filling** → storage, transport of H<sub>2</sub>, both liquid and gaseous, consume energy. The filling process (of tanks), i.e. the transfer of H<sub>2</sub> from one vessel to another requires energy and incurs loss of H<sub>2</sub> (leakage, boiling losses, ...)

**Synthesis losses:** are a matter of debate and depend very much on the synthesised fuel. E.g. H<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub> → Methanol is an exothermic reaction, CO<sub>2</sub> can be captured „out of the air“ (400ppm vol → very energy consuming!) or „from industrial combustion“ (85% vol)

■ Renewable power ■ Battery Electric Vehicle ■ Fuel Cell Vehicle ■ Efuel Diesel Engine Vehicle



Quelle: Matthew Davidson, Centre for Sustainable and Circular Technologies, University of Bath, at the IMechE IC Engines, Birmingham, December 2019,

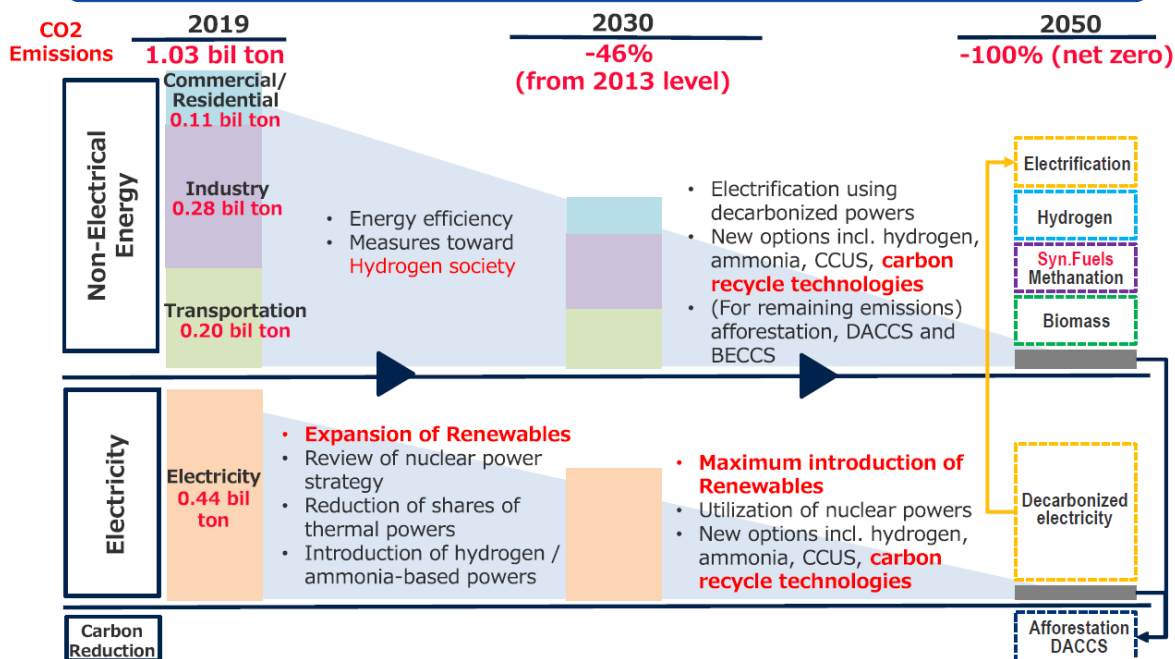
Lehrstuhl  
VERBRENNUNGSMOTOREN  
und Antriebssysteme

13 /Atzler © Lectures, Public. No copying of any part without prior permission and without referencing !

# Syntetická paliva jako prostředek akumulace elektřiny z JE/OZE?

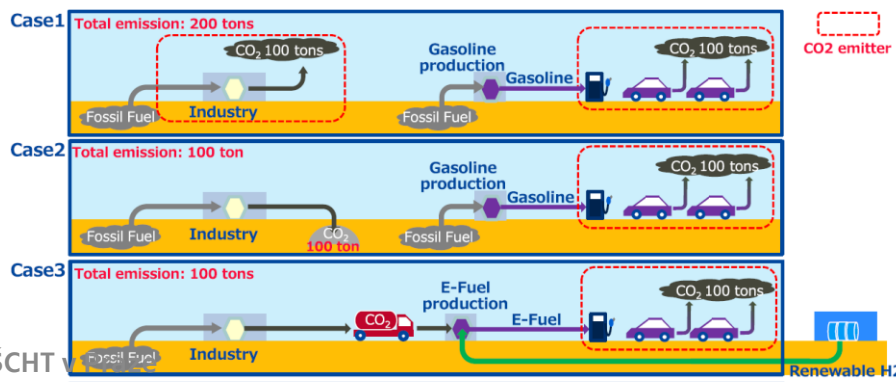
## Japonská alternativa s využitím vodíku a částečně recyklovaného CO<sub>2</sub>.

- Mix of measures are needed for Net Zero 2050



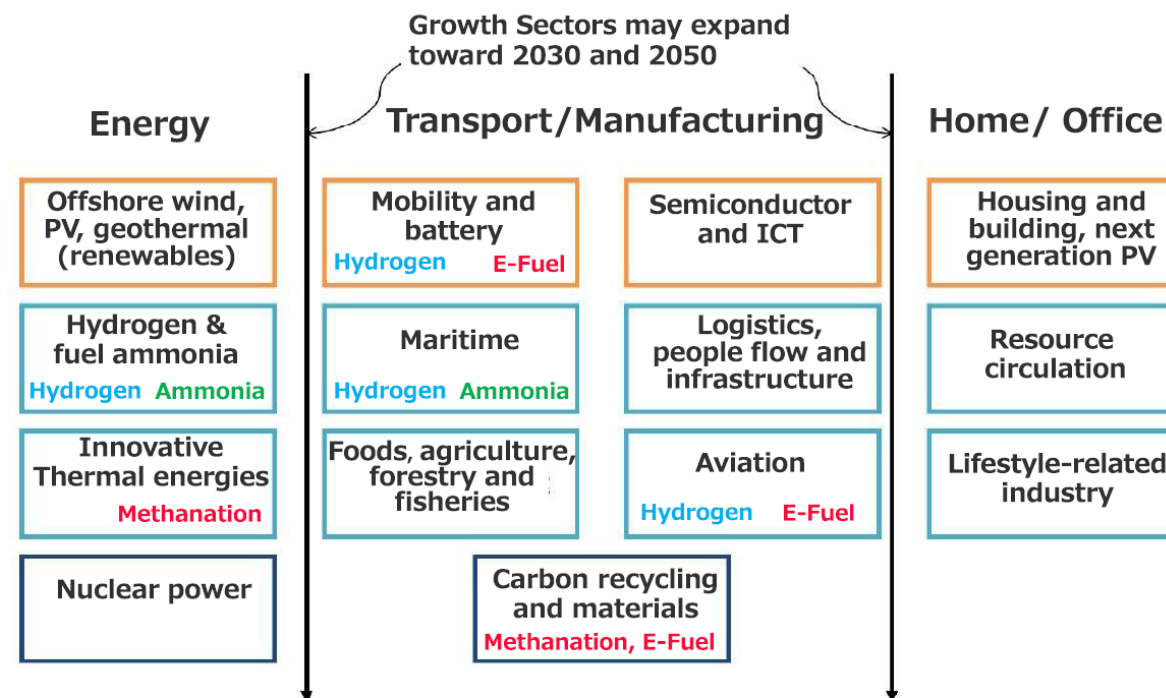
Source: METI "Green Growth Strategy" Unofficial Translation Sept 9 2021 / © TECHNOVA .INC All Rights Reserved.

- With industry-based CO<sub>2</sub>, E-fuel is not carbon-neutral



Zachycování CO<sub>2</sub> z atmosféry je energeticky neprůchodné, ať se, ze částečně recyklovat.

- Hydrogen and E-Fuel are key for de-carbonization of Sectors



Source: METI "Green Growth Strategy" Unofficial Translation Sept 9 2021 / © TECHNOVA .INC All Rights Reserved.

# Syntetická paliva jako prostředek akumulace elektřiny z JE/OZE?

## Výhody a nevýhody

- Malá účinnost využití primární energie při syntéze uhlovodíků, potřeba zdroje CO<sub>2</sub> a jeho elektrolýzy na CO; vyšší účinnost při výrobě samotného vodíku je stále menší než u přímého ukládání do baterií
- Pro chemické provozy je důležitá stabilita dodávky energie, ztráty z náběhu a zastavování výroby
- Podmínkou investic je jasná a neměnná státní (evropská) energetická strategie
- Možnost použití kapalných paliv i pro existující vozidla (retrofity) a tedy rychlejší efekt na snižování produkce skleníkových plynů
- Malé náklady na změny distribuční infrastruktury
- Prakticky neomezená kapacita pro ukládání přebytků energie u kapalných paliv; **určité problémy při ukládání vodíku**, ale cenově i materiálově podstatně méně náročné než u baterií
- Možnost použití vodíku v hutnictví a chemickém průmyslu
- **Podle rozsáhlé studie FVV z r. 2021 jsou celkové emise 2021-2050 všech alternativ včetně úplné elektrifikace na BEV podobné, přičemž BEV nevycházejí zdaleka nejlepší. Nejvýhodněji vychází kombinované použití vodíku ve SM a FC.**



# Syntetická paliva jako prostředek akumulace elektřiny z JE/OZE?

## Důsledky pro spalovací motory v běžném i hybridním zapojení

### Kapalná paliva

- Možnost paliv „na míru“ – z Fischer-Tropschovy syntézy je nejefektivnějším výstupem kerosen (C10), pro naftové motory ideální palivo z hlediska spalování, ale s menší viskozitou: nutnost lubrikačních přísad proti zadírání dílů vstřikovacích zařízení a recalibrace řízení CR systémů (vliv viskozity na pohyb jehly vstřikovače)
- Lehké frakce (C6-C8) možno za cenu přídatných nákladů vyrábět také nebo syntetizovat přímo alkoholy, nejlépe metanol – pro zážehové motory ideální palivo až na jedovatost
- Z metanolu možno též reformingem získávat dimetyléter DME (za atmosférického tlaku plyn, ale zkapalnitelný zvýšeným tlakem), ideální z hlediska spalování v naftových motorech, ale vyžadující úpravy na vstřikovacím systému (tlakování nádrží počínaje, úpravy pro vyloučení kavitace atp.)

### Vodík

- Možno nahradit větší část benzínu, ale i motorové nafty a zachovat dvojpalivový systém – důležité pro postupný vznik distribuční infrastruktury

**Překážka: setrvalý odpor EC vůči jakémukoli spalování ve vozidle.**



**ČVUT**  
ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE

# Principy – spalovací motory

- Zpracovávají méně hodnotnou a na těžbu, zpracování i uložení nenáročnou chemickou energii, většinou z fosilních paliv ( $W_{TW} \cong 1.1 T_{TW}$ ) s účinností tepelného stroje (v provozu 20 – 30% včetně obsluhy úložiště na vozidle, maximálně 38 – 53%)
- **Účinnost (zhruba) roste se zatížením a klesá s otáčkami – nutnost správného vytížení**
- Možnost zvýšení „účinnosti“ – využití energie v zásobníku vozidla – pomocí odpadních toků entalpie výfukových plynů a tepla z chladicího média (vytápění, odmlžování, odmrazování)
- Palivově nenáročné zejména ve vznětovém provedení s možností spalovat kapalná paliva a plyny (tam větší hmotnost i obslužné nároky úložiště).
- Možnost syntetických paliv s velkými nároky na WTT a tedy i  $W_{TW} = W_{TT} + T_{TW}$ , a to v pořadí od nejlepšího z biomasy, vody ( $H_2$ ), vody a fosilního  $CO_2$  a vody s atmosférickým  $CO_2$
- Emise zdravotních škodlivin jsou vyřešeny při dodržování legislativy
- Možnost dalšího snížení spotřeby energie různou **hybridizací**
- Extrémně nízké spotřeby možné při omezení výkonu motoru (VW 8 kW dvě osoby 10 kWh/100 km při 80 km/h na 100 km)

# Principy – elektrická vozidla

## Moderní baterie Li-ion ( $\text{Li-CoNi-Mn-O}_2$ nebo $\text{Al O}_2$ , $\text{LiFePO}_4$ , $\text{Li-S}$ )

Snaha o plně vratné reakce, ale vnitřní odpor se mění se stavem nabití a způsobem použití (nabíjení – vybíjení). Náboj se zachovává!

Li atomy procházejí po ionizaci elektrolytem (organický nebo v pevné fázi) i separátorem (nevodičem elektronů). Pevnofázový elektrolyt, S katoda a Si, Si+C nebo grafenová anoda ve vývoji (hmotnost, životnost, cena).

Při nabíjení se Li hromadí na anodě, při vybíjení přechází na katodu, jejíž napětí postupně klesá. Anoda je tvořena vrstvami grafenu, mezi nimiž se ukládají vrstvy Li. Katoda obsahuje sloučeniny kovů, jako  $\text{LiCoO}_2$  s Mn anebo Ni nebo  $\text{Li(Y)FePO}_4$ .

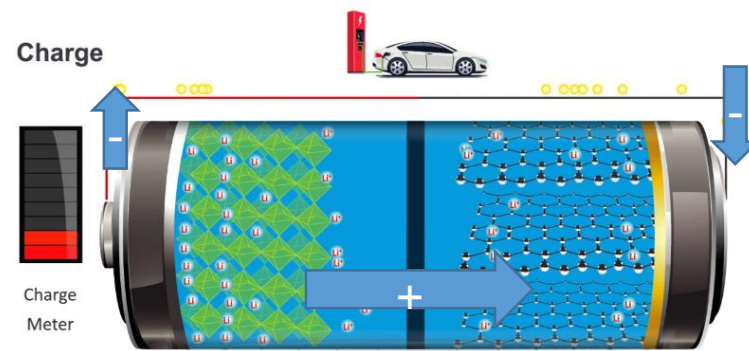
Hustoty energie dnes kolem 100-150 Wh/kg (30 kWh = 3 dm<sup>3</sup> nafty = cca 6 ekvivalentních dm<sup>3</sup> nafty pro spalovací motor ... 300-200 kg) s výhledem snad na 250 Wh/kg.

Nelze intenzivněji vybít za většího mrazu bez přehřátí, teplota nesmí přesáhnout cca 50°C (samovybíjení, pokles životnosti), nelze vybit úplně. Každým nabíjecím cyklem klesá životnost (State of Charge SoC, State of Health SoH). S nabíjením roste odpor, takže při rychlonabíjení je část kapacity (20%) nevyužitelná.

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/ese3.95>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion\\_battery](https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion_battery)

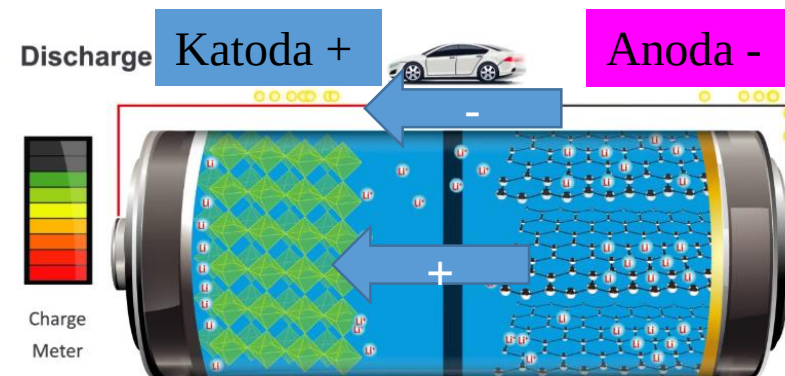
<https://www.energy.gov/eere/articles/how-does-lithium-ion-battery-work>



U.S. DEPARTMENT OF  
**ENERGY**

Office of ENERGY EFFICIENCY  
& RENEWABLE ENERGY

Separátor – izolace pro e<sup>-</sup> –  
problematická část baterie



U.S. DEPARTMENT OF  
**ENERGY**

Office of ENERGY EFFICIENCY  
& RENEWABLE ENERGY



Photo: Lithium-ion (Li-ion) batteries are less environmentally damaging than cadmium and mercury, but [recycling](#) them is still far preferable to incinerating them or sending them to landfill.

Like any other battery, a rechargeable lithium-ion battery is made of one or more power-generating compartments called **cells**. Each cell has essentially three components: a **positive electrode** (connected to the battery's positive or + terminal), a **negative electrode** (connected to the negative or – terminal), and a chemical called an **electrolyte** in between them. The positive electrode is typically made from a chemical compound called lithium-cobalt oxide ( $\text{LiCoO}_2$ ) or, in newer batteries, from lithium iron phosphate ( $\text{LiFePO}_4$ ). The negative electrode is generally made from carbon (graphite) and the electrolyte varies from one type of battery to another—but isn't too important in understanding the basic idea of how the battery works.

All lithium-ion batteries work in broadly the same way. When the battery is charging up, the lithium-cobalt oxide, positive electrode gives up some of its lithium ions, which move through the electrolyte to the negative, graphite electrode and remain there. The battery takes in and stores energy during this process. When the battery is discharging, the lithium ions move back across the electrolyte to the positive electrode, producing the energy that powers the battery. In both cases, electrons flow in the opposite direction to the ions around the outer circuit. Electrons do not flow through the electrolyte: it's effectively an insulating barrier, so far as electrons are concerned.

The movement of ions (through the electrolyte) and electrons (around the external circuit, in the opposite direction) are interconnected processes, and if either stops so does the other. If ions stop moving through the electrolyte because the battery completely discharges, electrons can't move through the outer circuit either—so you lose your power. Similarly, if you switch off whatever the battery is powering, the flow of electrons stops and so does the flow of ions. The battery essentially stops discharging at a high rate (but it does keep on discharging, at a very slow rate, even with the appliance disconnected).

Unlike simpler batteries, lithium-ion ones have built in [electronic](#) controllers that regulate how they charge and discharge. They prevent the overcharging and overheating that can cause lithium-ion batteries to explode in some circumstances.

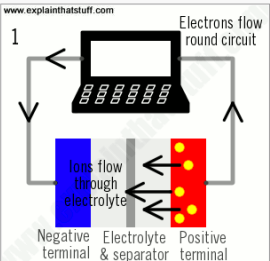
## <https://www.explainthatstuff.com/how-lithium-ion-batteries-work.html>

### How a lithium-ion battery charges and discharges

Animation: Charging and discharging a lithium-ion battery.

As their name suggests, lithium-ion batteries are all about the movement of lithium ions: the ions move one way when the battery charges (when it's absorbing power); they move the opposite way when the battery discharges (when it's supplying power):

1. During charging, lithium ions (yellow circles) flow from the positive electrode (red) to the negative electrode (blue) through the electrolyte (gray). Electrons also flow from the positive electrode to the negative electrode, but take the longer path around the outer circuit. The electrons and ions combine at the negative electrode and deposit lithium there.
2. When no more ions will flow, the battery is fully charged and ready to use.
3. During discharging, the ions flow back through the electrolyte from the negative electrode to the positive electrode. Electrons flow from the negative electrode to the positive electrode through the outer circuit, powering your laptop. When the ions and electrons combine at the positive electrode, lithium is deposited there.
4. When all the ions have moved back, the battery is fully discharged and needs charging up again.



### Disadvantages of lithium-ion batteries

#### How are the lithium ions stored?

If we're interested in the drawbacks of lithium-ion batteries, it's important to bear in mind what we're comparing them with. As a power source for automobiles, we really need to compare them not with other types of batteries but with *gasoline*. Despite considerable advances over the years, kilo for kilo, rechargeable batteries still store only a fraction as much energy as ordinary gas; in more scientific words, they have a much lower energy density (they store less energy per unit of weight). That also explains why you can fully "recharge" (refuel) a gas-powered automobile in a couple of minutes, whereas it'll generally take you *hours* to recharge the batteries in an electric car. Then again, you have to bear in mind that these disadvantages are balanced by other advantages, such as the greater fuel economy of electric cars and their relative lack of [air pollution](#) (zero tailpipe/exhaust emissions from the vehicle itself).



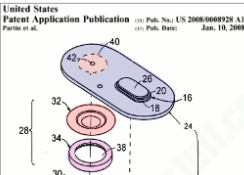
Photo: Lithium-ion (Li-ion) batteries can inflate like little cushions if they don't have a means of venting any gases produced during charging (mainly carbon monoxide, carbon dioxide, and hydrogen, though smaller amounts of other organic gases may also be present). Here are two identical batteries from a cellphone, the top one of which has almost doubled in width due to the trapped gases inside.

Leaving aside vehicles and considering lithium-ion batteries more generally, what are the problems? The biggest issue is safety: Li-ion batteries will catch fire if they're overcharged or if an internal malfunction causes a short circuit; in both cases, the batteries heat up in what's called a "thermal runaway," eventually catching fire or exploding. That problem is solved with a built-in circuit breaker, known as a current interrupt device or CID, which kills the charging current when the voltage reaches a maximum, if the batteries get too hot, or their internal pressure rises too high. But there remain concerns and, in 2016, the International Civil Aviation Organization officially prohibited shipments of lithium-ion batteries on passenger planes because of the potential danger. Now the safety risks of lithium batteries have attracted lots of media attention—especially when they've caused fires to break out in electric cars or on airplanes—but it's worth bearing in mind how *few* incidents there have been given how common the technology is (you'll find lithium-ion batteries in every modern cellphone, laptop, tablet, and most other rechargeable gadgets). And, once again, it's important to bear in mind the risks of the alternatives: yes, lithium-ion batteries in

electric cars can catch fire—but gasoline-powered automobiles catch fire much more often... and cause actual explosions! Other types of batteries can also catch fire and explode if they overheat, so fire isn't a problem that's unique to lithium-ion technology.

What's the solution? One promising option, currently being pioneered by a company called Ionic Materials, is to use flame-resistant polymers (solid [plastics](#)) in place of the flammable liquid electrolytes that are normally used in lithium-ion batteries. Another option, favored by John Goodenough, the chemist behind lithium-ion batteries, is to use "doped" glass (treated to make it electrically conductive) for the electrolyte instead. Time will tell whether one of these options—or something else entirely—will topple lithium-ion batteries from their place as the world's favorite rechargeable technology.

Artwork: A lithium-ion battery has a current interrupt device (CID) inside to stop it overheating. Here's one example of how it can work. The two battery electrodes (green, 12 and 14) sit inside a case (light blue, 22) with a lid on top (dark blue, 24). One of the electrodes (14) is connected to its top terminal (42) through the CID (28), which is made of three parts. There are two metal conducting discs (red, 30 and 32) with an insulator (purple, 34) in between them. Normally the discs are touching and allow current to flow from the electrode to its terminal. But if the battery overheats and pressure builds up inside, the discs are pushed apart and stop any more current flowing. Any excess gas vents through small slits (yellow, 56) in the sides of the case. Artwork from [US Patent 4,423,125: Integrated current-interrupt device for lithium-ion cells](#) by Phillip Partin et al, Boston-Power, Inc., courtesy of US Patent and Trademark Office.



### Who invented lithium-ion batteries?

Handy, helpful lithium-ion power packs were pioneered at Oxford University in the 1970s by chemist [John Goodenough](#) and his colleagues Phil Wiseman, Koichi Mizushima, and Phil Jones. Their



ČVUT  
ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE



# Principy – akumulátorová elektrická vozidla BEV

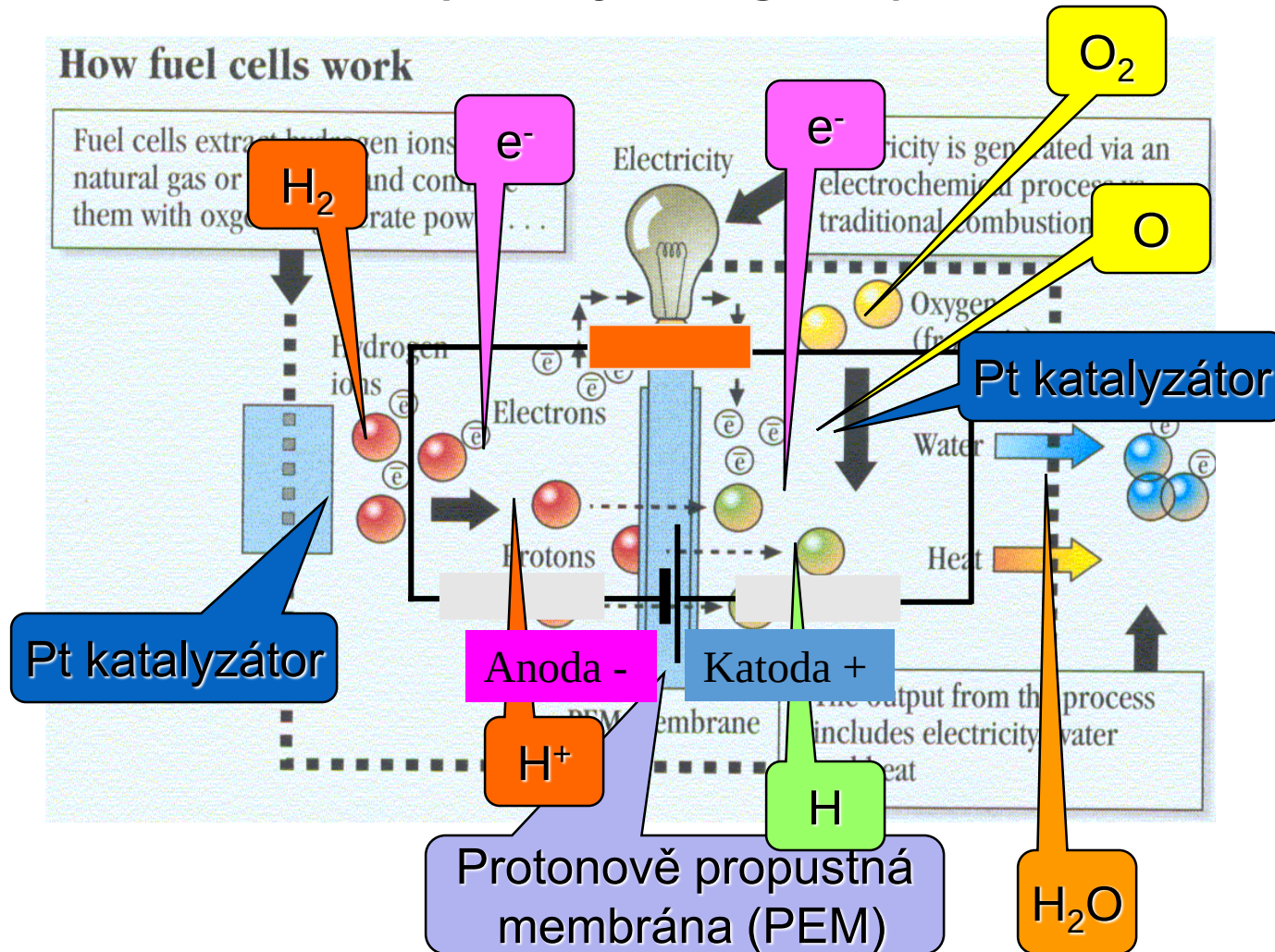
- Účinnost využití energie v baterii TTW kolem 70%, u osobních aut 2.5-3 krát vyšší než u SM.  
3.5V/článek, sério-paralelní řazení a chlazení nutné
- **Účinnost klesá se zatížením a zhruba roste s otáčkami; možnost přídatné rekuperace (Mercedes CXX 10 kWh/100 km při průměrném výkonu motoru cca 13 kW a 87 km/h na 1 000 km)**
- Ztráty při nabíjení a distribuci elektrické energie, nutno řešit nejen střední energie, ale i VÝKON potřebný pro nabíjení.
  - Příklad: pro flotilu současných osobních a dodávkových vozidel je zapotřebí cca 20 TWh/rok, čili cca 1.5 JeTe, ale při nočním 8 h trvajícím nabíjení je zapotřebí 3x více
- Investičně náročná infrastruktura s malým průměrným využitím, tedy s nutností akumulárního mezičlánku (stacionární baterie zatím příliš drahé, snad vodík s účinností znovuvyužití kolem 30%)
- Hmotnost baterií a vliv na jízdní odpory při požadovaném delším dojezdu (malé auto 20 kWh/100 km, 200 km = 40 kWh baterie s méně než 0.2 kWh/kg = 200 – 250 kg, velké 25-30 kWh/100 km)
- Cena baterií a odpisy (20 kWh/100 km, 200 km = 40 kWh baterie s cenou asi \$300/kWh = 300 000 Kč) a praktická životnost (záruka 160 000 km při poklesu kapacity max . o 30%, celková asi 250 000 km – zatím málo údajů)
- Problémy v zimě (dočasné snížení kapacity za nízkých teplot a příkon topení vozidla) a s požární bezpečností, zejména ve společných garážích (důsledky i pro pojištění)
- Druhé auto do rodiny = malý roční km náběh a problémy při LCA – viz dále
- Závislost WTT emisí na způsobu výroby elektrické energie – problém v Německu, ČR, Polsku, ...



# Principy – vodíková vozidla

## Palivové články s protonově propustnou membránou, PEM FC

Elektrochemický zdroj energie s převážně sériovým vnitřním odporem.

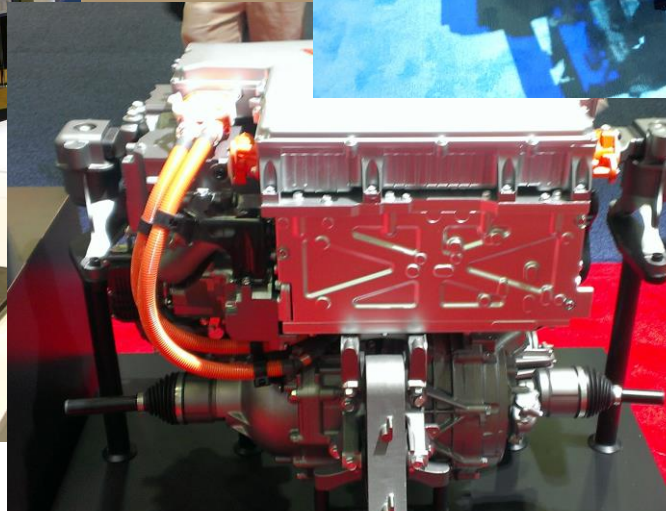
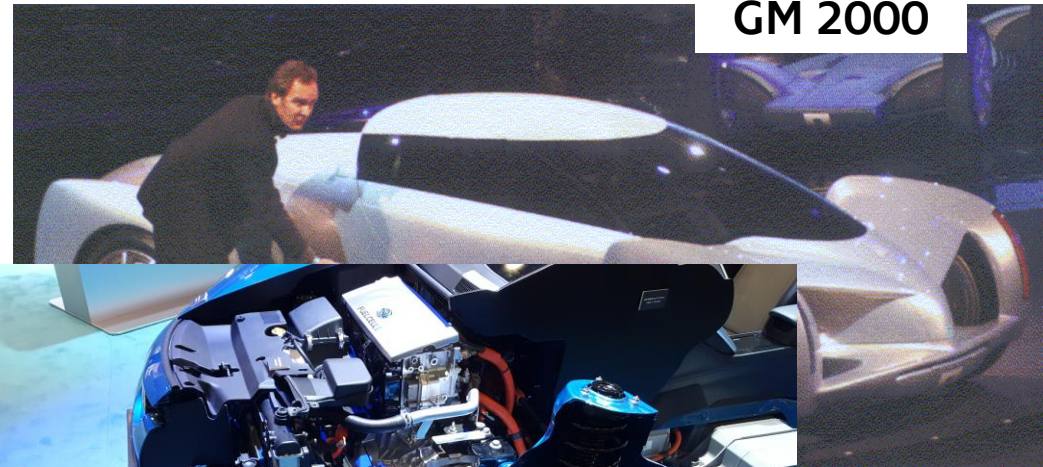
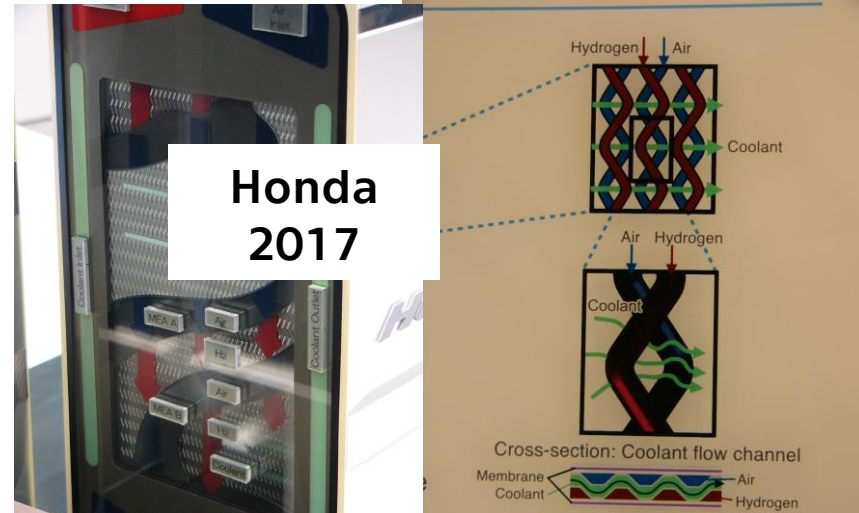


- Vhodné při nízkých provozních teplotách (cca 80°C, výj. více) pro zpracování vodíku, snad i metanolu.
- Vysoká účinnost při nízké zátěži, 0.6 V/článek, sériové řazení a chlazení nevodivým médiem a bipolárními deskami nutné.
- Hybrid s malou baterií nutný pro přechodové režimy.
- Technologicky drahá membrána a bipolární desky, elektrody obsahují Pt.
- Velmi čistý vodík (vysoce stlačený 700 bar) i filtrovaný vzduch nutný.
- Problém při mrazu.



# Výhledy palivových článků

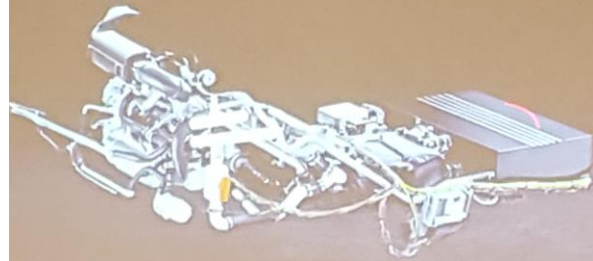
- Objem i hmotnost vyšší než u spalovacího motoru.
- Lze přizpůsobit prostoru v zástavbě.





# Daimler made huge technological progress

**2010:** Underfloor package



**2017:** Engine compartment package



- 30% Reduction Fuel Cell engine size

- 90% Reduction of Platinum



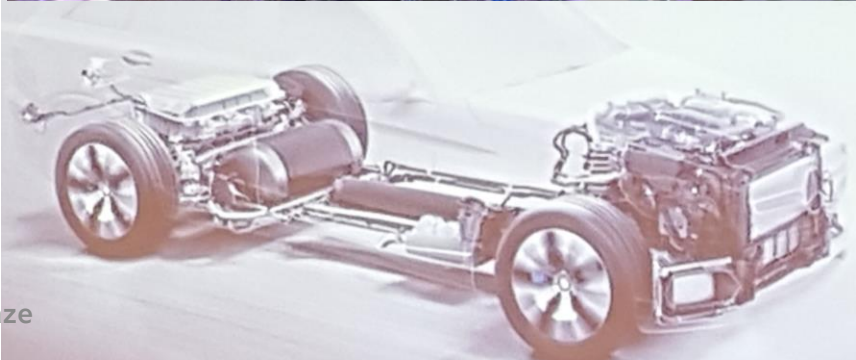
Increase in range to around 500 km

Driving power: + 40 %

Volume of fuel cell unit: -30 %

Reduction of the amount of platinum in the fuel cell stack: -90%

Switch to plug-in-battery, in order to satisfy the gradual built up of H<sub>2</sub>-Infrastructure in an ideal way



# Principy – vodíková palivočláneková vozidla PEM FCEV

- Účinnost využití energie v od nádrže TTW kolem 50%, sériové řazení článků a chlazení nutné
- **Účinnost klesá se zatížením a zhruba roste s otáčkami**
- Ztráty při distribuci vodíku souvisejí s jeho stlačením, ale umožňují akumulovat energii z OZE; zkapalnění je energeticky VELMI náročné a nedá se kvůli odparu udržet dlouho
- Investičně náročná infrastruktura s malým průměrným využitím; vejcoslepičí syndrom, pokud se paralelně pro přechod neprovozují vodíkové SM
- Hmotnost vozidel není kriticky navyšována
- Cena a odpisy jsou značné, zatím málo dat, tady může s technologickým pokrokem cena klesat rychleji než u baterií
- Problémy v zimě se zamrzáním chladicího okruhu, požární bezpečnost není kritická
- Závislost WTT emisí na způsobu výroby elektrické energie – problém v Německu, ČR, Polsku, ...

# Spotřeba energie: Jak dělat revoluci v mobilitě a kolik to bude stát?

**Svoboda pohybu nemá omezovat jiné v tomtéž – v jakém poměru má být individuální/ sdílená/ virtuální mobilita?**

**Jak intenzivní mobilitu potřebujeme – opravdu musíme být všude osobně?**

**Jak rychlou potřebujeme? – rozhoduje dojížděcí čas, ne vzdálenost - zákon Marchetti-Zahavi (cca 1 h denně).**

**Jak pohodlnou mobilitu potřebujeme – opravdu přednostně individuální?**

**Jak rychlá má být změna k nové mobilitě a čím se má řídit?**

**Technologická neutralita se v minulosti osvědčila v protikladu k vnucování politických rozhodnutí, která se ovšem dají nařizovat i skrytě.**

Pro elektromobilitu založenou na bateriových automobilech BEV a obecně energetiku založenou na obnovitelných zdrojích OZE existuje několik domněnek:

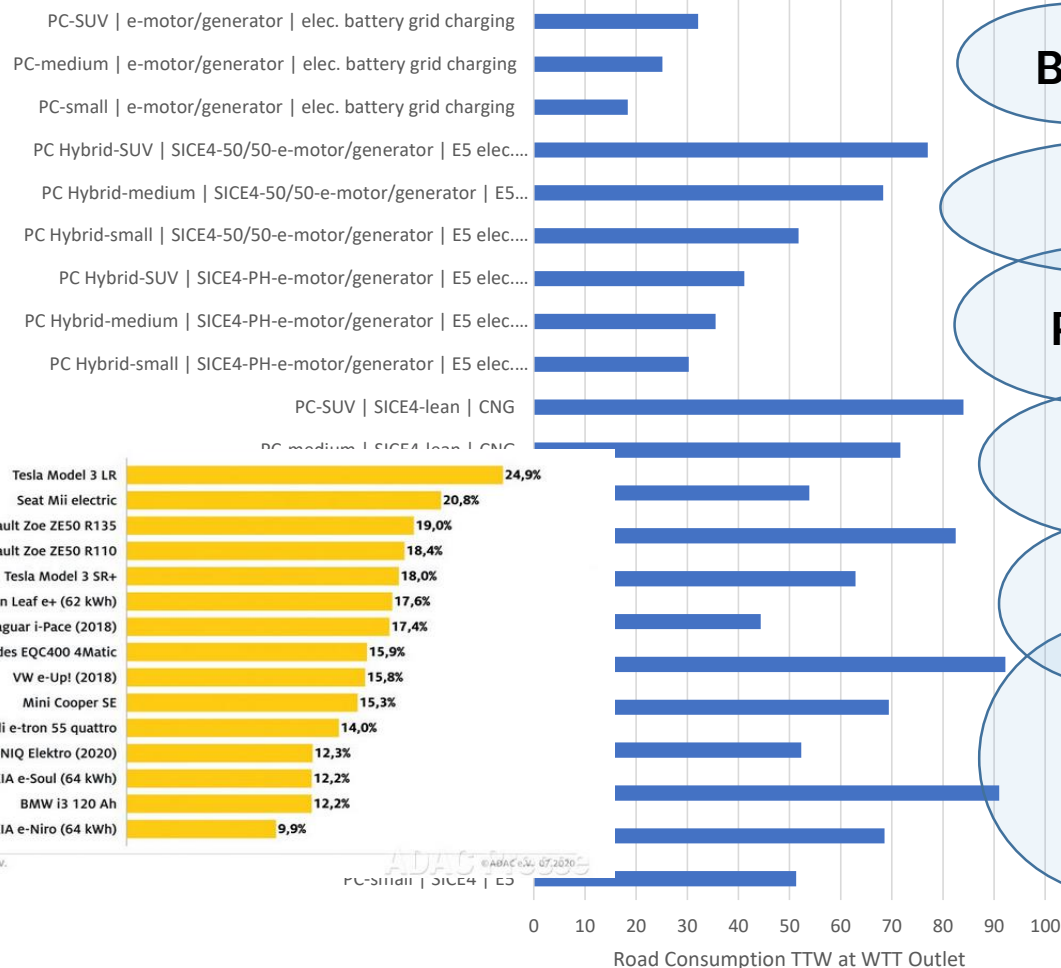
- ☐ Mýtus nižší spotřeby energie a nižších emisí skleníkových plynů (environmentální).
- ☐ Mýtus nižších nákladů na mobilitu (ekonomický).
- ☐ Mýtus stejného (většího) pohodlí a svobody mobility (spotřebitelský).
- ☐ Mýtus zlepšení sociálně-politických faktorů a dosažení vyšší kvality života – např. neohrožení, ba zvýšení zaměstnanosti (populistický).



# Jak elektromobilita zlepšuje životní prostředí z hlediska skleníkových plynů

## TTW spotřeba je lepší u BEV přes nárůst hmotnosti. Nutno správně zahrnout nabíjení!

Road Energy Consumption TTW at Outlet of WTT [kWh/100 km]



BEV

HEV E5

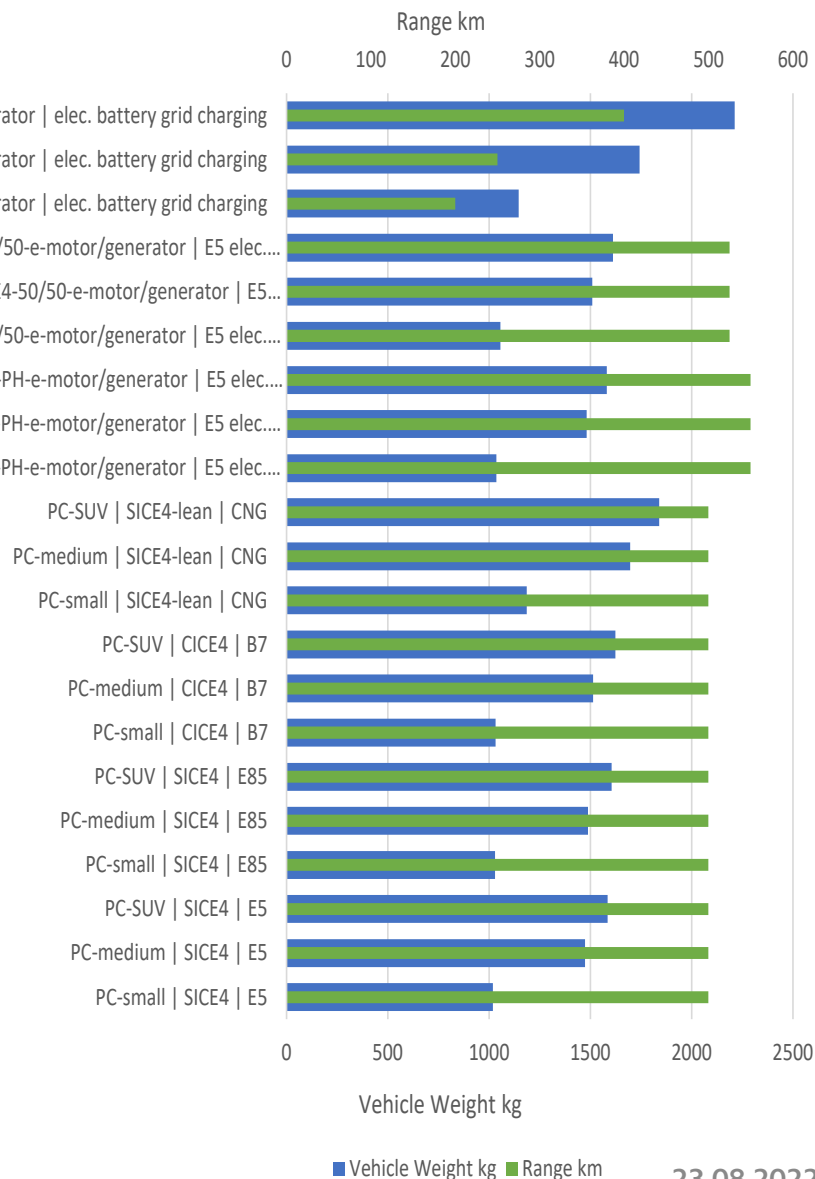
PHEV

SI ICE  
CNG

CI ICE  
B7

SI ICE  
E5 +  
E85

Vehicle Weight [kg] and Range [km]



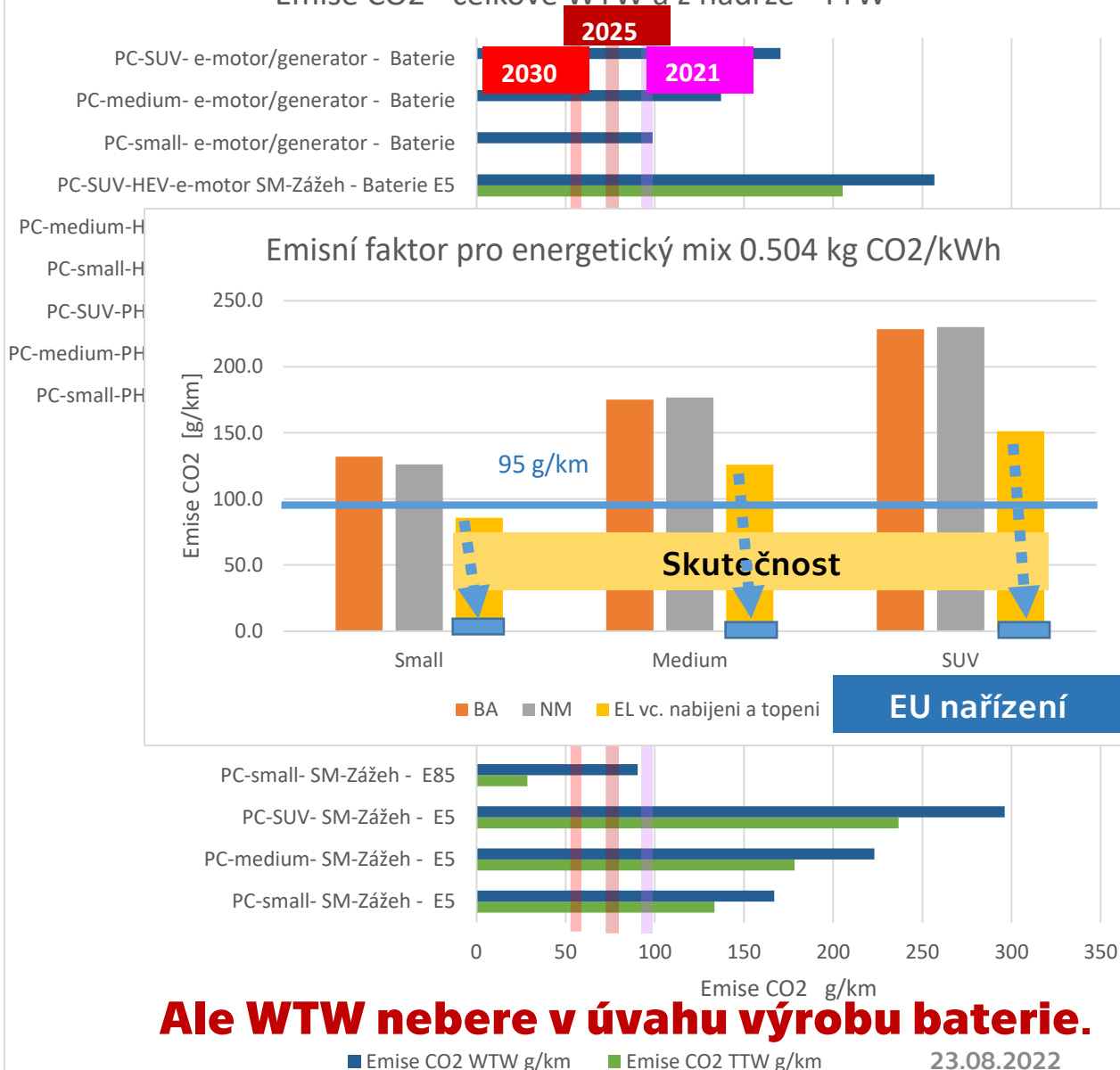
# Jak elektromobilita zlepšuje životní prostředí z hlediska skleníkových plynů

Emise skleníkových plynů GHG v ekvivalentu CO<sub>2</sub>

- **WTW** se bere v úvahu při hodnocení **klimaticko-energetických plánů členských států dle nařízení RED II**.
- **TTW** se bere v úvahu v **nařízení EU o hodnocení flotilového průměru prodaných vozidel**, z něhož se vyměřují výrobcům pokuty, tedy využití obnovitelných zdrojů a recyklovaného uhlíku se nepočítá, na druhé straně se **výkaznický počítá s nulovou TTW emisí elektromobilu. Automobilky však nevyrábějí malá elektrická auta, protože to pro ně není ani z hlediska nařízení o emisích ani z hlediska prodejnosti efektivní!**
- Ve skutečnosti záleží na GHG emisích pro energetický mix. Dnes Německo a ČR přes 500 g CO<sub>2</sub>/kWh, tedy 0,5 t CO<sub>2</sub>/MWh (graf počítán pro 504 g CO<sub>2</sub>/kWh), Francie – jaderné elektrárny – 88 g CO<sub>2</sub>/kWh, Polsko nebo Čína přes 750 g CO<sub>2</sub>/kWh
- **Cena 1 MWh el (na svorkách elektrárny) dnes kolem 250-400€, povolenky na 1 t CO<sub>2</sub> 100€. Překročení GHG emisí tedy může být na úrovni ceny). 2018 - 45€/MWh, 5€/t CO<sub>2</sub>**

LŠ VŠCHT v Praze

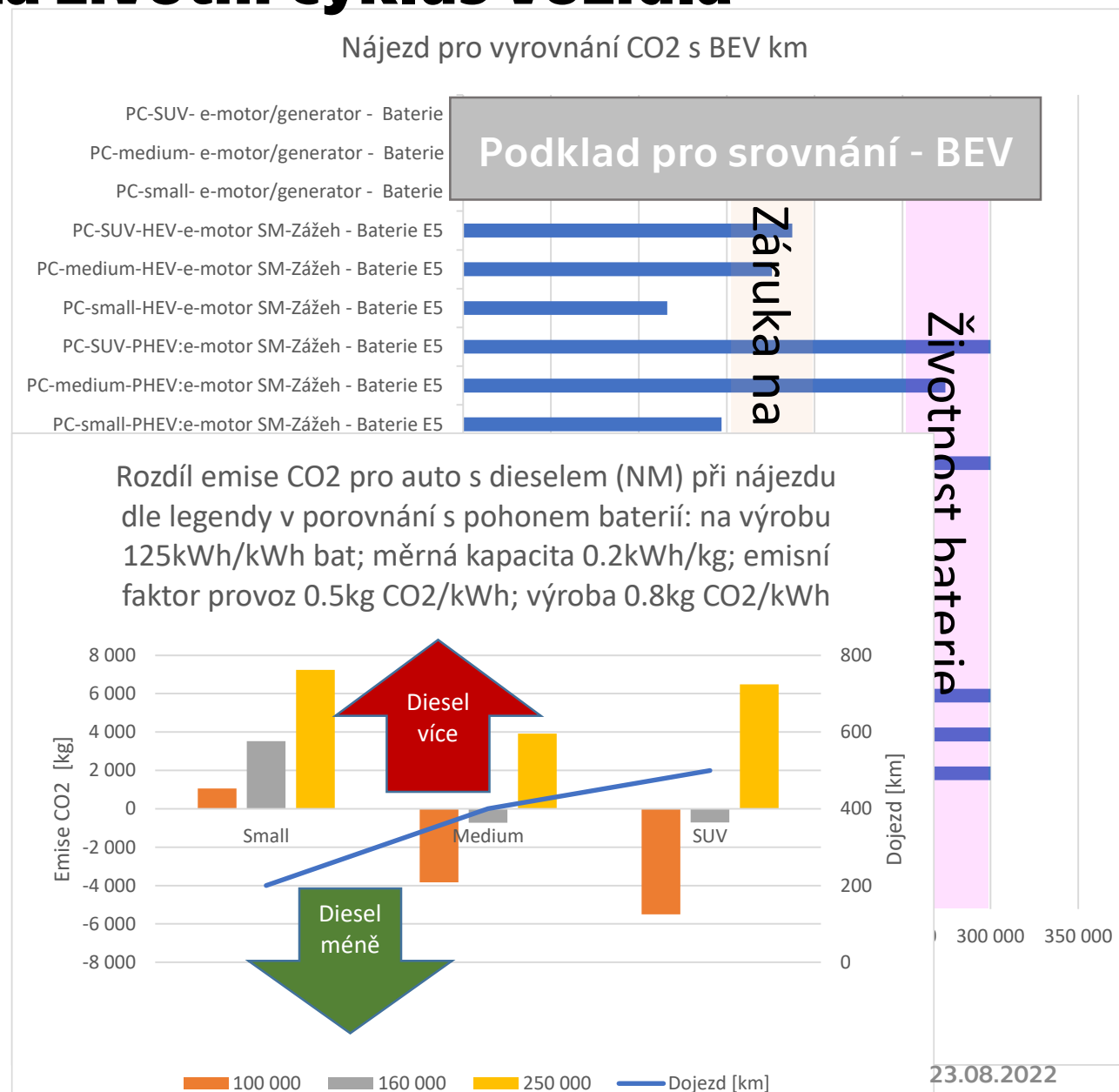
Emise CO<sub>2</sub> - celkové WTW a z nádrže - TTW



ČVUT  
ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE

# Mýtus nižší spotřeby energie a nižších emisí skleníkových plynů - v ekvivalentu CO<sub>2</sub> za životní cyklus vozidla

- S ohledem na energetickou náročnost výroby elektrod baterií **nestačí posouzení vozidel energetické a GHG globálně působící emisní bilance vozidel jen WTW.**
- Nutno tedy použít **hodnocení životního cyklu LCA cradle-to-grave** (reincarnation) C2G, obvyklé v USA (Argonne National Laboratory).
- Podklady vykazují rozptyl, ale existují.
- Vyhodnocení ve formě **nájezdu km vozidla konkurenčního uspořádání, nad nímž je emise GHG vyšší než u elektromobilu BEV.**
- Kritické nájezdy je vhodné srovnat se životností baterie i její zaručenou kapacitou.
- **Bateriová vozidla tedy při výrobě článků baterií v Číně nevykazují podstatné zlepšení emisí GHG proti dalším možným koncepcím vozidel.**



# Mýtus nižší spotřeby energie a nižších emisí skleníkových plynů

## FAKTA

- ❑ Výroba **elektrické energie ČR za rok 80 TWh na svorkách generátoru, u spotřebitele cca 65 TWh včetně import-export** (hodinový průměrný výkon asi 7.5 GW, ale s velkými fluktuacemi).
- ❑ Doprava celkem spotřebuje ročně **ve všech druzích energie na vstupu dopravního systému 65 TWh** (na vstupu do nádrže WTT nebo předávací místo distributora elektrické energie do interní sítě – třeba pro troleje nebo nabíječky),
  - ❑ z toho fosilní paliva 62 TWh,
  - ❑ **z toho osobní a dodávková auta (PC+LD) cca 42 TWh.**
  - ❑ Chceme-li ve vazbě na nové zdroje dopravu elektrifikovat, pak nutno vzít v úvahu, že elektromobil je na vstupu z baterie do hnací jednotky **účinnější, protože využívá již připravenou elektrickou energii**, a to cca **2krát-3krát** (osobní automobily BA a NM cca 2,8 krát, nákladní jen dvakrát).
  - ❑ Nutno přidat **ztráty při nabíjení** podle průměrných hodnot, spíše pro pomalé nabíjení (25% Tesla, méně až k 10% další značky – statistika ADAC – podle míry využití nočního nabíjení).
  - ❑ **S energetickou spotřebou souvisejí emise skleníkových plynů (nikoli zdraví škodlivých látek!).**
  - ❑ Nutno vzít v úvahu **dodatečné emise** skleníkových plynů pro **výrobu a distribuci kapalných fosilních paliv** (cca 10-15%) a **ztráty v síti i emise při výrobě elektřiny a importu (ČR 2019 asi 15%+12%)** – ČR, Německo cca 0.5 kg CO<sub>2</sub>/kWh el spotřeby, Francie pod 0.1 kg/kWh – jaderné elektrárny) – místo Tank-to-Wheel **TTW** použít Well-to-Tank&Tank-to-Wheel **WTW**.

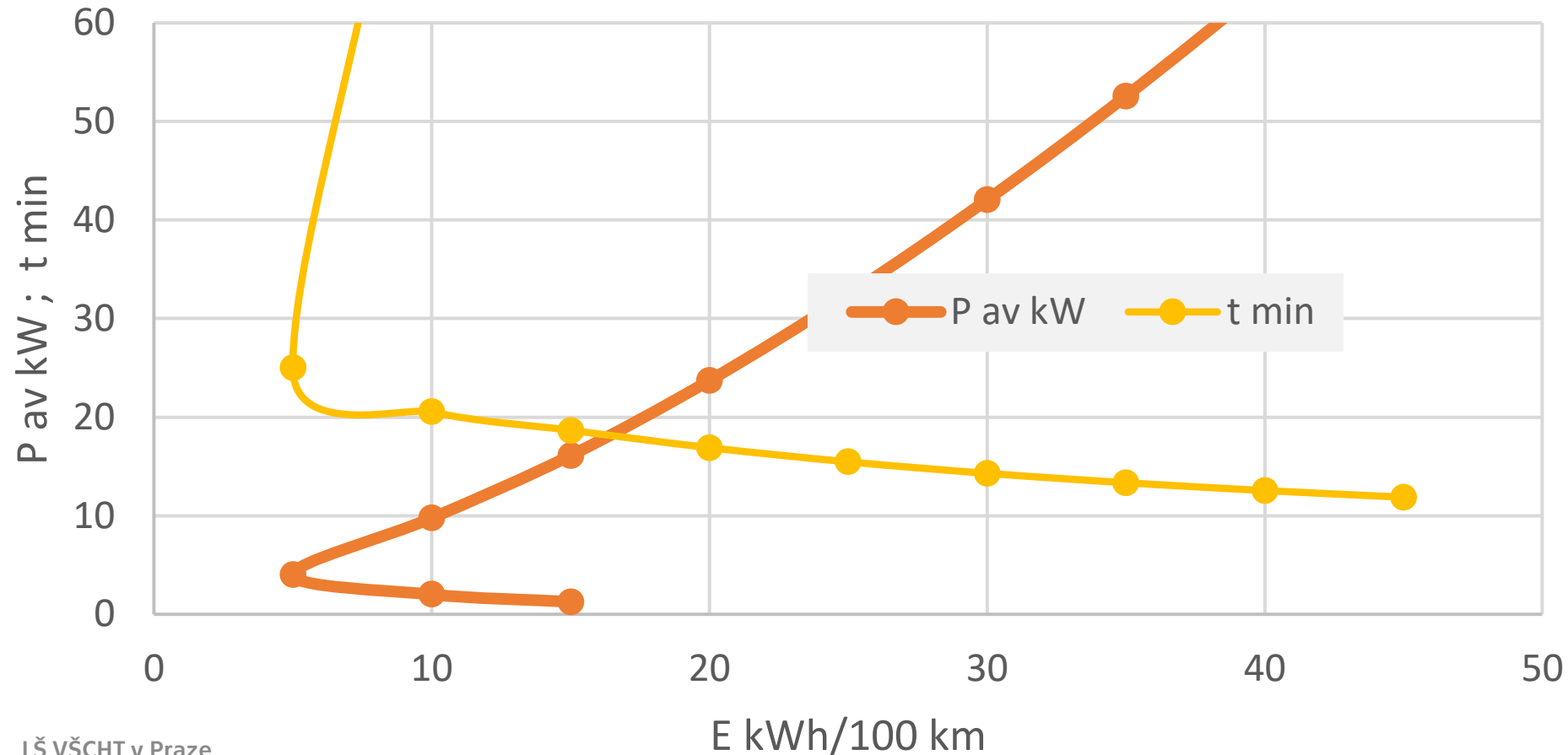


# Mýtus nižší spotřeby energie a nižších emisí skleníkových plynů

- ❑ **Chceme-li elektrifikovat všechna osobní a lehká dodávková vozidla, potřebujeme cca 18-20 TWh (podle spotřeby na topení a podle podílu málo účinného rychlonabíjení), tedy cca 1.3-1.6 JeTe (roční výroba 12-15 TWh). Průměrná data poskytují jenom řádové odhady.**
- ❑ **Vozidla se nebudou nabíjet 24 h denně. Při využití 8 h pro nabíjení je příkon trojnásobný, tedy výkon cca 4 – 4.5 JeTe. Mohlo by se nabíjet i déle – s menšími nároky na okamžitý výkon, ale to je v rozporu s intermitencí dodávek z obnovitelných zdrojů a plánu na využití baterií v automobilech pro stabilizaci sítě s OZE – dále předpokládáme 15 h k dispozici pro síť (na vlastní jízdu nebo čas mimo síť zbývá pak 1 h bez rezervy na dobití v případě neplánované potřeby).**
- ❑ **Kapacita baterií v autech připojených k síti by pro celou flotilu PC (cca 6 000 000 vozidel) v ČR vystačila při využití 20 kWh na 7,5 h zálohování průměrného příkonu na síti (více by bylo možné za cenu omezení pohotovosti vozidla k jízdě a snížení životnosti baterie). Při reálném odhadu elektrifikace 10% vozidel pak vystačíme na 45 min zálohování, pokud to umožní nabíječky. Během zimních měsíců potřebujeme při větším podílu OZE zálohovat týden i více ...**
- ❑ **Emise a náklady na rozšíření primárních zdrojů a distribuční sítě spolu se zajištěním stability?**
- ❑ **Zajištění dopravních prostředků schopných provozu za mimořádných situací atd. atd.**
- ❑ **Počítat před přijetím opatření se tedy vyplatí pro vyloučení nesmyslů, kterých je v publikacích neodborníků nebo spekulantů mnoho.**

# Lepší parametry se dosáhnou pro bateriová vozidla jen při pomalé jízdě a malém dojezdu – město!

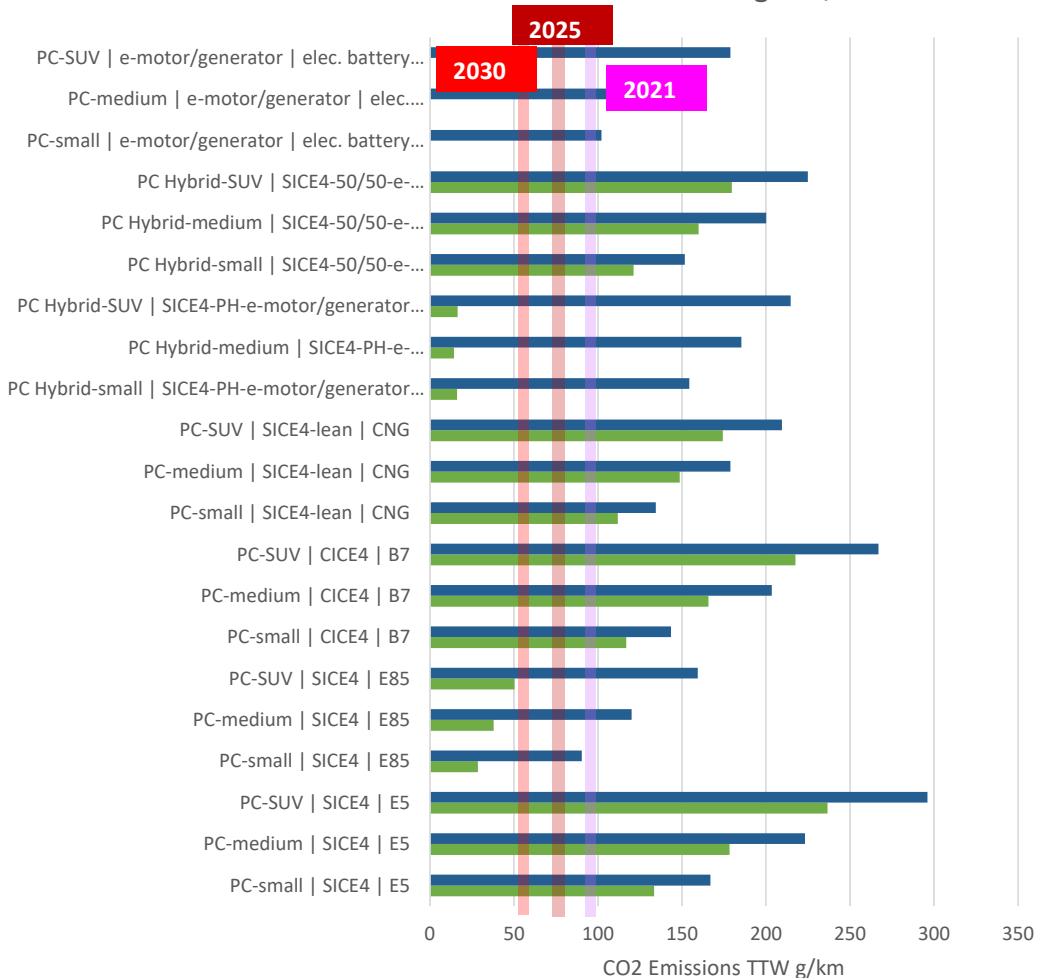
Závislost potřebného výkonu a doby jízdy na spotřebě energie



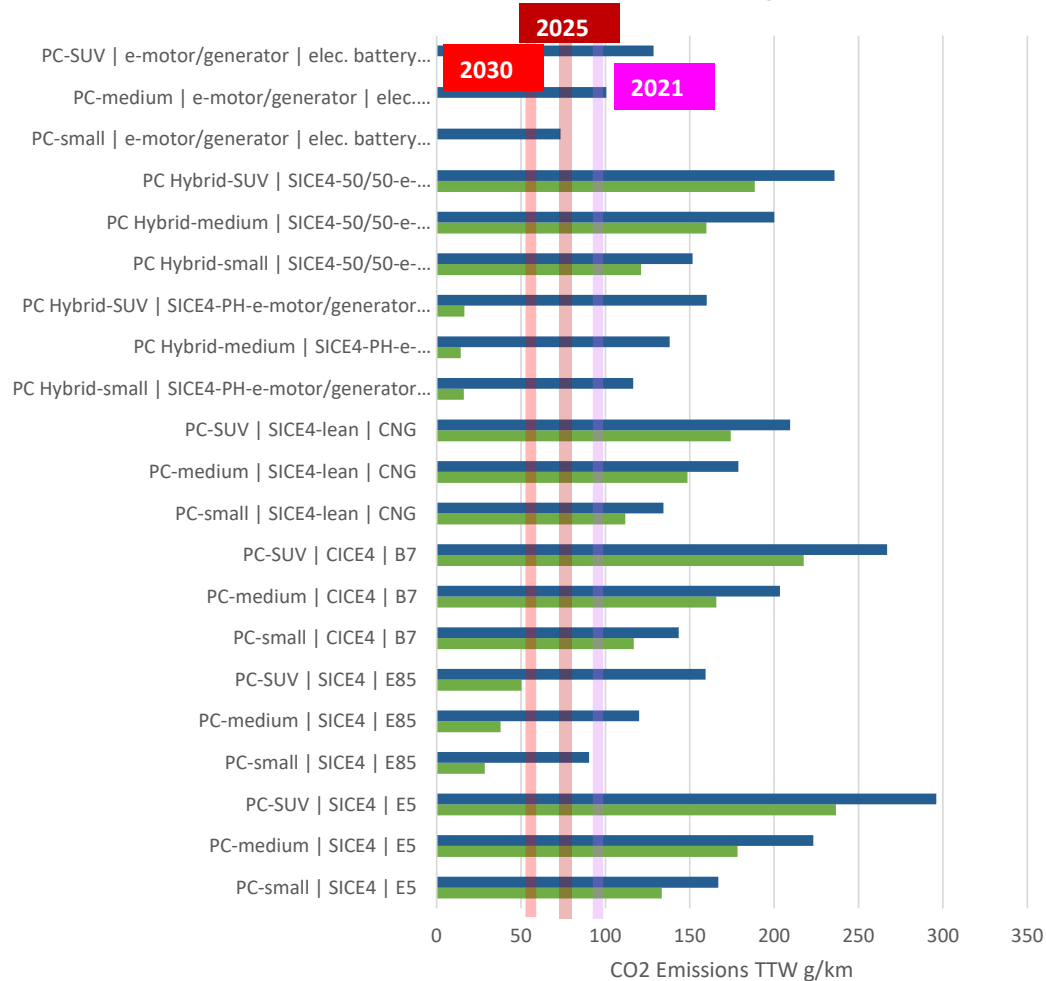
# Mýtus nižší spotřeby energie a nižších emisí skleníkových plynů - v ekvivalentu CO<sub>2</sub> za WTW

Jen až přejdeme na jadernou energetiku – za 20-25 let, ale i pak jsou jiná řešení. **Proč ne OZE – dále.**

CO2 Emissions - WTW and TTW at 500 gCO2/kWh



CO2 Emissions - WTW and TTW at 360 gCO2/kWh



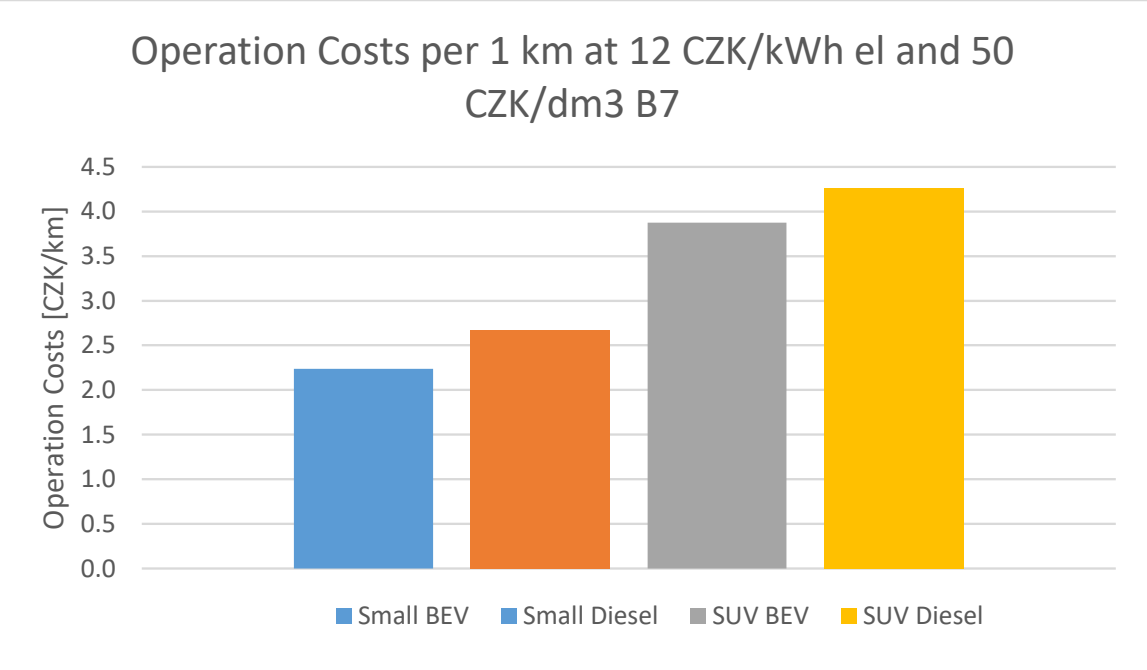
# Jak elektromobilita působí na zlepšení životního prostředí

- možnost noční akumulace **v době nadbytku výroby elektrické energie pro lepší využití jaderných elektráren i OZE (vítr)** a snížení emisí skleníkových plynů,
- určitá **omezená možnost akumulace v době nadbytku výroby** elektrické energie pro lepší využití OZE (vítr i fotovoltaika) přes den,
- menší část energie vynaložené pro jízdu lze získat zpět **rekuperací při brzdění** zejména v městském provozu (5-8 %),
- možnost **využití opotřebovaných nepoškozených baterií ve stacionárních úložištích** energie (ale riziko požáru),
- **nulové toxické emise** z hnací jednotky v místě použití,
- **nízký hluk** hnací jednotky,
- *podíl OZE v elektrickém emisním faktoru dle metodiky RED II (je však pro ČR nízký),*
- *nulové emise TTW skleníkových plynů vykazují dle nařízení EU zcela fiktivně jen výrobci vozidel.*

- pro energetický mix Německa nebo ČR vychází emise na 90-130 gCO<sub>2</sub>/km, tedy **ne rozhodujícím způsobem nižší než u spalovacího motoru**, pokud se počítá emise na spotřebu, ne na výrobu
- při započtení celoživotní bilance emisí **skleníkových plynů** je výsledek srovnatelný s jinými pohony vozidel, a to se značnými investicemi,
- pro zajištění úplné elektromobility osobních vozidel potřebujeme 1,5 Temelína při celodenním průměrném nabíjení, 4,5 Temelína pro trakční nabíjení během 8 h denně (zbytek na síťové služby pomocí baterie BEV?); podle NAP ČM cca 1/10 z toho do r. 2030
- k tomu distribuční síť, dimenzovanou na špičky
- výroba základních **prvků baterií v Číně** s uhelnou energetikou a tam i produkce **globálně působících skleníkových plynů**,
- při provozu vozidel **negativní účinek na emise roste s rostoucím dojezdem a velikostí** vozidla a s vyšším využitím fosilních paliv pro zajištění stability sítě s OZE,
- riziko importu použitých elektromobilů na konci jejich životnosti – **import odpadu**,
- **lokální toxické emise** při těžbě a zpracování podstatných materiálů baterií a elektropohonů se přesouvají jinam.



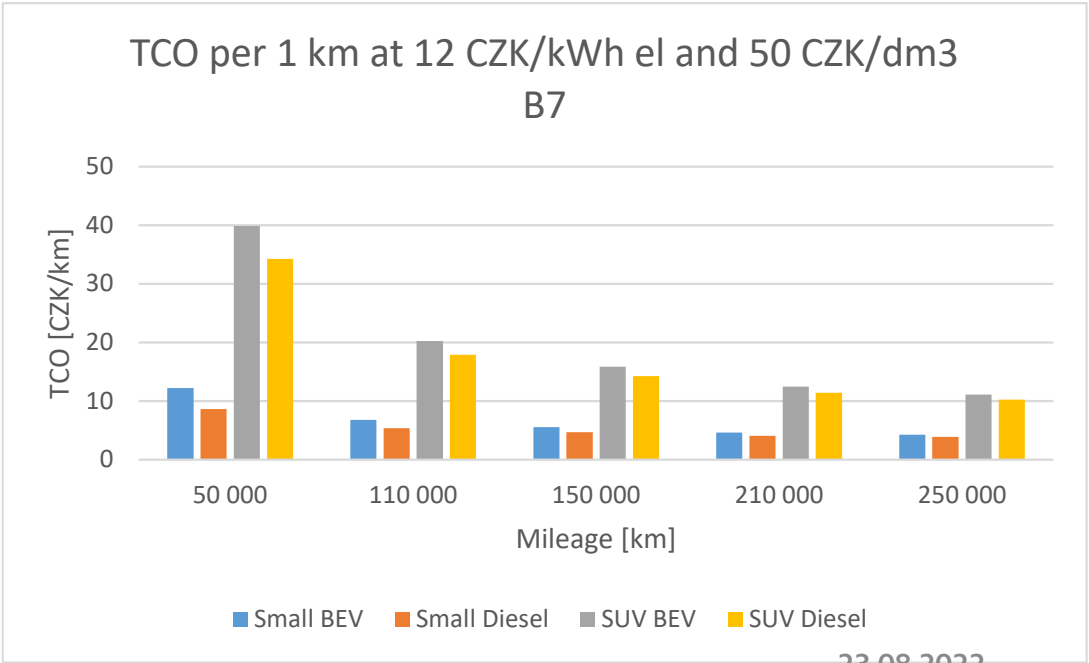
# Mýtus nižších nákladů na mobilitu – jen do výměny baterie



**Ceny:** Malá auta (mini, small kategorie)– skutečná cena u BEV bývá cca dvojnásobná proti prodejní, proto je téměř nikdo nenabízí. U větších – SUV – jde o nižší poměr, ale stále jde o ztrátu při prodeji. Tím se prodávají auta pro bohatější část populace, dotovaná ze zvýšení cen nebo daní pro chudší část populace.

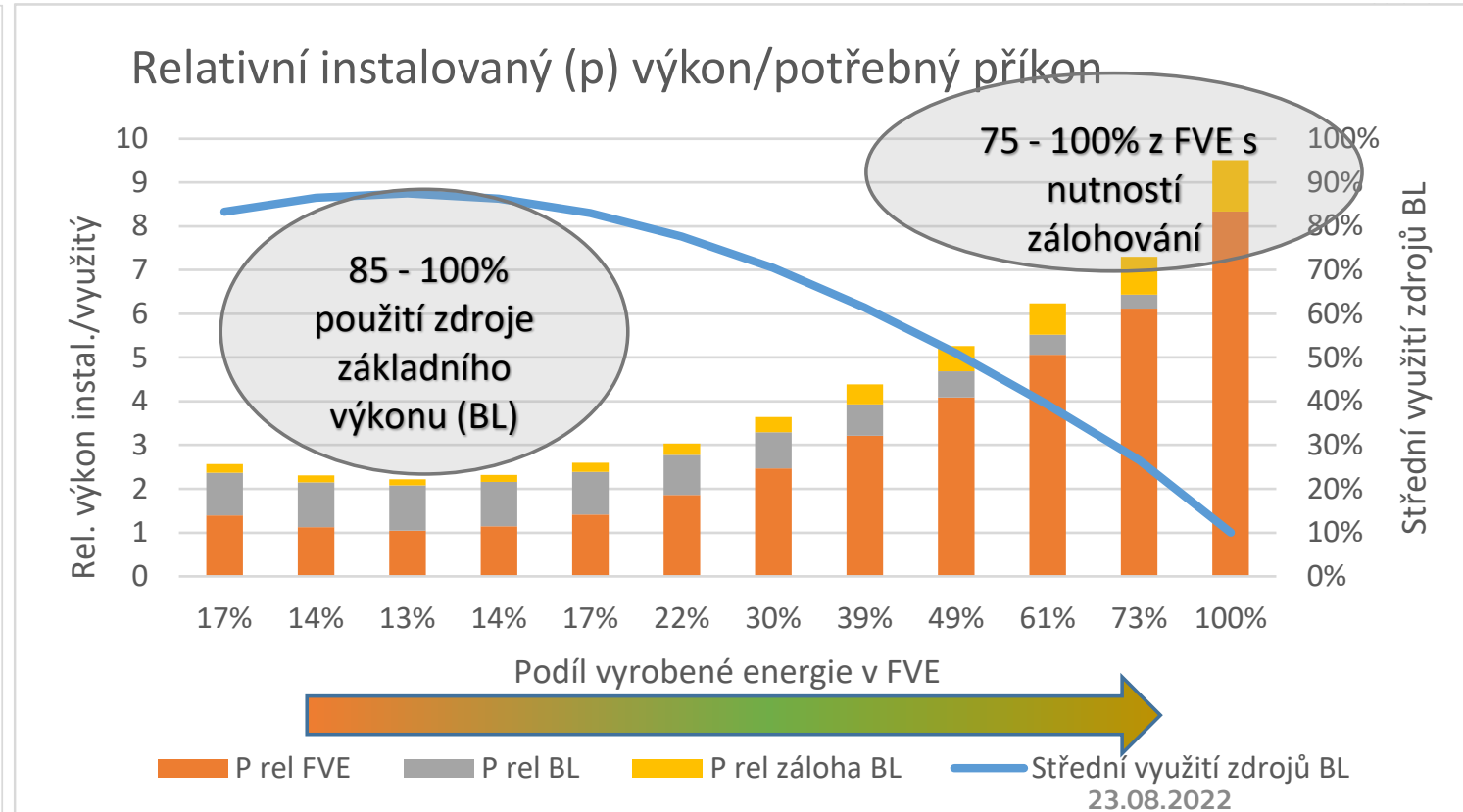
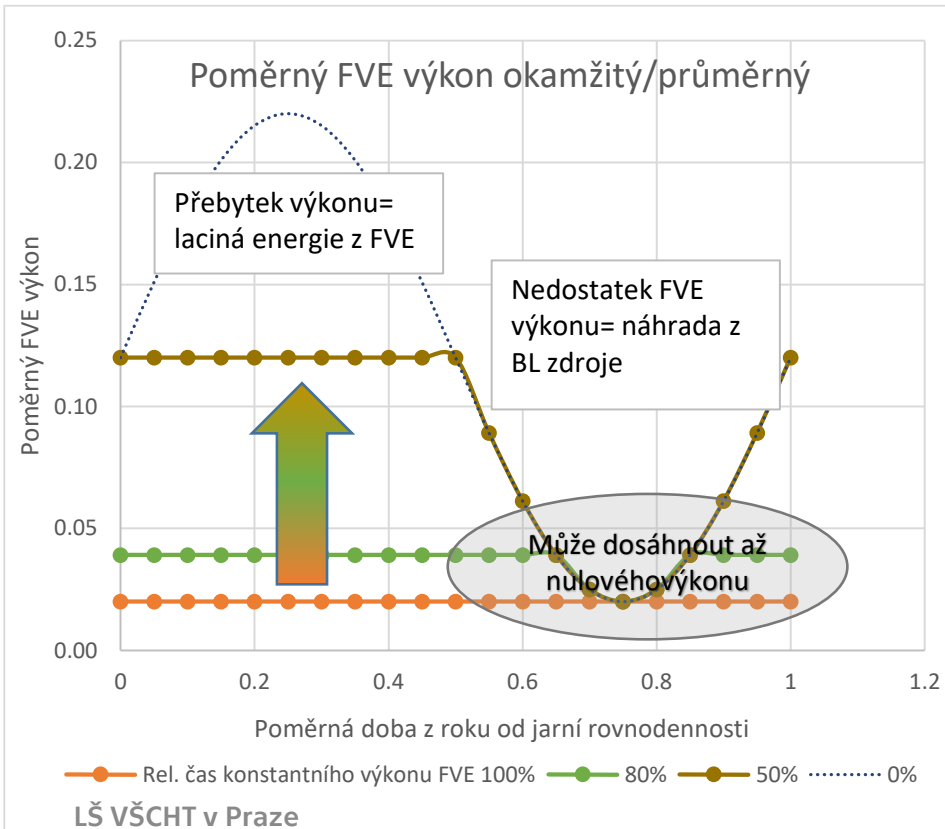
|              | Battery | Battery Durability | Battery Price | Car Price | Service+battery/1000 | Energy Consumption | Energy Unit Price |
|--------------|---------|--------------------|---------------|-----------|----------------------|--------------------|-------------------|
|              | kWh     | km                 | \$/kWh        | CZK       | CZK                  | kWh/100 km         | CZK/kWh           |
| Small BEV    | 20      | 250 000            | 100           | 500 000   | 196.0                | 17                 | 12.00             |
| Small Diesel | 0       | 0                  | 0             | 300 000   | 166.7                | 50                 | 5.00              |
| SUV BEV      | 70      | 250 000            | 100           | 1 800 000 | 636.0                | 27                 | 12.00             |
| SUV Diesel   | 0       | 0                  | 0             | 1 500 000 | 266.7                | 80                 | 5.00              |

Cena elektřiny bez spotřební daně z paliv (cca 40% pro fosilní paliva).  
Ceny vozidel jsou aktuální s vnitřní dotací BEV u výrobce na úkor zisku nebo cen automobilů se SM. Není započten větší zůstatkový podíl ceny SM proti BEV (v obou případech předpokládán 0).  
Zaručená životnost baterie s poklesem kapacity o 30% 160 000 km. Počítána životnost baterie 250 000 km.  
Dojezd menší než 150 nebo 300 km (SUV).



# Mýtus nižších nákladů na mobilitu pomocí OZE

- Proč nemáme „stále levnější energii z fotovoltaiky a větru“? Máme ji, ale jen když není zapotřebí.
- Levná je jen tehdy, kdy je jí přebytek a není poptávka! Ale záložní výkon na zimu potřebujeme pořád stejný, jen ho během roku méně využijeme.
- S rostoucím podílem instalovaného výkonu FVE klesá sice průběžně používaný výkon zdrojů základního výkonu (BL, šedě), ale roste potřebný záložní výkon BL (žlutě) a klesá jeho využití (modrá křivka), tedy roste jeho cena s ohledem na odpisy, případně úroky půjčky investice. Relativní instalovaný výkon je u FVE cca 8x vyšší než produkováný, u BL cca jen 1,2 x.



# Mýtus stejného pohodlí a svobody mobility (1)

- **jednoduchá obsluha vozidla a vysoká aktivní bezpečnost**
- **nízký hluk hnací jednotky**
- schopnost přilákat dotace a fiskální i další zvýhodnění, reflektované **malými náklady na energii a poplatky za provoz** – závisí na zdrojích země (Norsko x ČR), **do ujetí cca 100 000 km, po nichž je možno vozidlo snad ještě prodat s přenosem nákladů za recyklaci baterie na nového vlastníka**
- **náklady na servis nižší než u klasických vozidel bez započtení výměny baterií**
- **u vozidel s malým dojezdem pro městský provoz RELATIVNĚ nízká cena vůči větším elektromobilům nebo hybridům s dotovanými cenami, ovšem se započtením existujících zvýhodnění**
- **očekávaný pokles cen baterií** při sériové výrobě se může, ale nemusí bez dotací uplatnit, je překryt pohybem cen surovin a vnitřním přerozdělením zisku u automobilek

- nejistý čas dosažení cíle podle počasí, topení/klimatizace a z toho potřebného dobíjení; problém při živelních pohromách
- skutečné celkové náklady na vlastnictví vozidla jsou vyšší do ujetí cca 150 000 km u elektromobilu s uvážením současných dotovaných cen a bez amortizace baterie
- po započtení nákupní ceny, životnosti baterií, ceny elektrické energie při větším podílu OZE (podle místa a rychlosti nabíjení), budoucího zdanění elektrické energie nahrazujícího spotřební daň z paliv, se zvýšenou cenou pojištění i s nižší prodejní cenou ojetého vozidla to bude mezi 220 000- 300 000 km, tedy do životnosti baterie
- nejistá pohotovost k jízdě vozidla, závislost na domácí nabíječce nebo veřejné síti a riziko omezení svobody pohybu v důsledku možnosti odčerpání energie z baterie pro potřeby smart grids (pokračuje)

# Mýtus stejného pohodlí a svobody mobility (2)

- **nový životní styl s pomalejším tempem**, např. provozně vynucenými přestávkami během jízdy – je konkurenceschopný?
- **možnost dobíjení u zaměstnavatele** – pokud zaměstnavatel nezahrne své náklady na provoz dobíjecích stanic,
- **možnost využití baterie elektromobilu jako akumulátoru energie** pro domácnost v rodinném domku v době **předem plánované odstávky vozidla** a se zvažováním **ovlivnění životnosti baterie**,
- **možnost snížení nákladů vlastnictví vozidla sdílením vozidel**,
- **nižší zdraví škodlivé emise** v okolí bydliště.

- malé pohodlí za **teplotních extrémů kvůli dojezdu ovlivněnému topením nebo klimatizací**,
- **strach z dojezdu**, zejména za mimořádných dopravních situací,
- **nutnost sdílení vozidla u sociálně slabších skupin** s vedlejšími negativními účinky sdílení vozidel,
- bezpečnostní rizika - fatální důsledky **zahoření baterie** pro vozidlo, posádku i místo nabíjení (garáž, dům) včetně jedovatých zplodin a ohrožení hasičů elektřinou, nutnost karantény vozidla (parkování, nabíjení) několik týdnů po nehodě s překročením limitního zpoždění,
- **rizika při nákupu použitých vozidel (podstatnou část ceny tvoří baterie) a nebezpečí z nákupu náhradních baterií z levnějších zdrojů.**



# Mýtus zlepšení sociálně-politických faktorů a dosažení vyšší kvality života (populistický)

- splnění požadavků EU a podmínek pro evropské dotace i půjčky,
- možnost regulovat dotačně složení vozového parku – typové i věkové (ale v parxi selhává dle zkušenosti),
- možnost současného využití investic do změny zdrojů mobility pro podporu nových forem mobility (sdílení vozidel, kombinovaná přeprava),
- obecné posílení role státu?
- pro některé politické strany: velký korupční potenciál dotací a vynucených investic do energetiky i vozového parku.
- menší lokální zdraví škodlivé emise z provozu na uliční síti,
- nové příležitosti pro podnikání v oboru služeb pro mobilitu (parkoviště, garáže, nabíjení, servis).

- **zajištění efektivní zaměstnanosti za výpadky v automobilovém průmyslu a návazných odvětvích;** politické důsledky prosazování a finanční podpory neefektivního zaměření mobility,
- **zvýhodňování elektromobilů dotacemi a znevýhodňování konkurence vede k růstu cen nových vozidel, k používání starých vozidel, a tím k růstu emisí,**
- **zdražení spalovacích motorů pro stacionární zdroje energie (také pro výpadky sítě při živelních pohromách včetně nabíjení) a pro armádní/policejní/hasičské použití**
- **hrozby pro demokracii a svobodu přerozdělováním v rámci SR – přitom dotační a fiskální podpora příjmově vyšších vrstev společnosti,**
- monopolizace závislosti dopravy na elektřině, a to při očekávání jejího deficitu; **nutnost kompenzace za spotřební daň z motorových paliv a nutnost prostředků na posílení zdrojů a provoz elektrické distribuční sítě, uhlíková daň na fosilní paliva,**
- pokles příjmů z poplatků za parkovací místa na veřejných komunikacích,
- **nutnost zavedení nových opatření v požární bezpečnosti garáží.**

Místo produktivní zaměstnanosti (automobilový průmysl) zavedeme méně produktivní zaměstnanost (výroba neefektivních OZE z hlediska životního cyklu). To má ekonomické a návazně politické důsledky, zejména při dotaci bohatších.

# Jak zapůsobí nařízená a dotovaná elektromobilita na jedince a jejich rodiny

- cena automobilů
- trh s ojetými vozidly
- cena energií
- daně
- možnost parkování a poplatky za něj
- **možnost zaměstnání v průmyslu a navazujících službách**

- **Cena baterií** kolem 100 (teorie)-300 \$/kWh u nového vozidla je **dotována dnes výrobcem z marže celé výroby** (včetně vozidel se spalovacími motory, SM) tak, aby se minimalizovaly ztráty z pokut za překročení 95 g CO<sub>2</sub>/km.
- Náhradní baterie jsou proto daleko dražší.
- **Stoupne tedy i cena vozidel se SM. Dosáhne ceny elektromobilu (BEV), BEV nezlevní na úroveň SM. Sériová výroba BEV povede ke zdražování vlivem přerozdělení zisku a stoupajících cen materiálů. Stoupá cena všech energií, ale nejméně u fosilních kapalných paliv.**
- Pořizovací cena elektromobilu je vysoká kvůli baterii, která nejrychleji podléhá opotřebení – proto zbytková cena elektromobilu je značně snížena proti vozidlu se SM. **Nákup je riskantní, pokud se současně nekoupí baterie (stará jako záložní pro stacionární použití? – bezpečnost?) nebo pokud se netoleruje nízký dojezd.**
- Vyšší poptávka po elektrické energii v množství a čase (denní nebo noční nabíjení) se nedá zajistit jen z obnovitelných zdrojů – nárůst ceny (zejména za distribuci) bude několikanásobný.
- Veřejné dotace musí být kryty z daní. Totéž pro spotřební daň z paliv (40-42%) – vlastně je to příspěvek na silniční infrastrukturu.
- Chybějící místní poplatky se musí nahradit – čím?
- **Změna konkurenceschopnosti průmyslu omezí zaměstnanost. Umělá zaměstnanost vytvářející neefektivní výrobky není ekonomicky udržitelná.**

# Nezodpovězené otázky na závěr – odpověď nemohou dát inženýři

- Co způsobí, až voliči poznají reálný výsledek –
  - malé nebo žádné zlepšení klimatické změny
  - trh deformovaný nařízeními v ekonomice,
  - propad exportu při nutnosti vyššího importu,
  - ekonomicky závislé mezinárodní vazby ČR?
- ***Jak a kde mohou naznačené problémy řešit EU, státy a obce***
  - *příímými, nepřímými dotacemi,*
  - *fiskálními opatřeními,*
  - *restrikcemi s využitím dostupných daňových a pokutových příjmů,*
  - *půjček a tiskem peněz (kvantitativním uvolňováním).*
- **Mýtus řešení následkem pokroku v budoucnosti – neopodstatněná naděje a sliby nezarmoutí hned, ale po čase.**

- A jaké to může mít důsledky na úrovni socioekonomické a politické?
- Kdy revoluční nadšení přechází v diktaturu?
- Není evoluce a technologická neutralita lepším řešením?



ČVUT  
ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE

# Závěry

- Řešení hnací jednotky nutno posuzovat z hlediska udržitelnosti (tedy bez zkreslení dotacemi a se zahrnutím životního cyklu, tedy např. z produkce CO<sub>2</sub> pro celou změnu systému, rozpočtenou na ujeté km nebo z odpisů) z hlediska technologické neutrality.
- **Nikdo rozumný není proti elektromobilitě, ale proti direktivnímu způsobu jejího zavádění.**
- Násilné zavádění elektromobility **není lékem k ozdravení planety**, ale takto nařizované nepřináší z hlediska klimatu a prostředí **prakticky nic**. Dramaticky ovlivní životní standard v chudší části Evropy včetně ČR.
- Elektromobil má v současnosti své **uplatnění pro kratší rozvážkovou službu** a tam, kde jsou vhodné podmínky pro dobíjení. **Ideální je jako druhé nebo třetí auto** v rodině (JEN PRO BOHATÉ!). Prodejnost a užitná hodnota pro ojeté vozy je velmi diskutabilní.
- V nejbližší budoucnosti by bylo záhodno **pokračovat ve vývoji a výrobě vozidel se spalovacími motory pro export a hybridů pro vnitřní evropský trh**, s tím, že toto bude postupně **utlumováno podle rozvoje** elektromobilní infrastruktury a podle stavu vývoje baterií.
- Pro budoucnost je tedy důležité využít vše dobré pro optimální řešení – hybridy, vozidla na syntetická paliva se spalovacími motory i palivovými články, car sharing ve městech, ...
- S klimatickou změnou se musíme naučit žít, ne se ji snažit neúčinně a draze ovlivnit.
- Bez holistického přístupu k mobilitě to nepůjde od vozidel přes fyzickou infrastrukturu k informační infrastruktuře.
- **Otázka je, zda je ještě průchodné evoluční řešení v současné době zavádějících informací a zpochybňování platnosti přírodních zákonů. Proto je nutné vrátit se k odborným analýzám bez emotivního podtextu a konat dle jejich výsledků. Zvítězí zdravý rozum?**



# Poděkování

- Využití výsledků projektů IMPROVE #608756 EU FP7, REWARD, REal World Advanced Technologies foR Diesel Engines #636380, IMPERIUM, IMplementation of Powertrain control for Economic, low Real driving emlssions and fuel ConsUMption #713 783 and ADVICE, ADvancing user acceptance of general purpose hybridized Vehicles by Improved Cost and Efficiency #713 783 EU Horizon 2020 umožnilo použít tam vyvinuté optimalizační algoritmy a převzít některá data. Podpora domácích projektů TA ČR, zejména Národních center kompetence, project #TN01020026 Josef Božek National Competence Centre for surface vehicles, byla důležitá pro další zpracování dat.
- Prezentace by nevznikla bez přispění mých kolegů z ČVUT, VŠCHT a KU, mezi nimiž jsou zejména Josef Morkus, Pavel Steinbauer, Petr Denk, Rastislav Toman, Vít Doleček, Oldřich Vítek, Jiří Vávra, Ivan Bortel, Michal Takáts, Milan Pospíšil (VŠCHT), Vojtěch Máca (CŽP UK) a členové think-tanku Realsitická energetika a ekologie [www.realisticka.cz](http://www.realisticka.cz) Milan Apetaur, Milan Smutný, Jan Vondráš, Vladimír Wagner, Jiří Marek, Milan Šálek, Josef Zbořil a předsedou Jaroslavem Čížkem.



**ČVUT**  
ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE



# Děkuji za pozornost.

## Dotazy?

Jan.Macek@fs.cvut.cz  
<http://www.cvum.eu>  
<http://realisticka.cz>

