



ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE



Elektromobilita a obecnější otázky elektrifikace vozidel

Jan Macek, Josef Morkus

ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Centrum vozidel udržitelné mobility

jan.macek@fs.cvut.cz

<https://www.cvum.eu>

<https://realisticka.cz>

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

Obsah přednášky

1. Úvod – motivace ke změnám systému mobility
2. Základní vlastnosti vozidel, způsoby hodnocení spotřeby energie a emisí skleníkových plynů
3. Vliv konstrukce na provozní parametry vozidla od vstupu pro plnění zásobníku na kola – TTW
4. Výroba vozidla včetně nosiče energie a parametry WTT
5. Objektivní hodnocení pomocí analýzy životního cyklu LCA
6. Časové rozložení přechodu na nové způsoby mobility
7. Pět hlavních hříchů vzdělaných laiků (profesionálních diletantů) v politické interpretaci problematiky
8. Závěry



ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

1. Motivace ke změnám systému mobility: Emise skleníkových plynů

- Přejít k novým alternativám má snížit **množství emitovaných SKLENÍKOVÝCH PLYNŮ** (CO_2 , metan, oxid dusný, ...), které jsou **zdraví neškodné**, působí **globálně** a přispívají **k navýšení teploty atmosféry** i zemského povrchu.
- To je cíl **Fit for 55** – nikoli omezení **zdraví škodlivých emisí z dopravy a výroby**, které působí **lokálně**. **Dopravu z hlediska zdravotních škodlivin** omezuje je tč. v Evropě Euro 6AP, v budoucnu Euro 7. Emisní faktory při výrobě energie jsou ovlivňovány evropskými směrnici (RED II, RED III) pro **podíl OBNOVITELNÝCH** zdrojů a spekulacemi zatíženými emisními povolenkami.
- **NEEXISTUJE BEZEMISNÍ MOBILITA ANI NEKOMPROMISNÍ ŘEŠENÍ.** Vždy vznikají v životním cyklu nosičů energie, vozidel i infrastruktury nežádoucí efekty. **Je nutné posoudit celkový dopad změn mobility.**

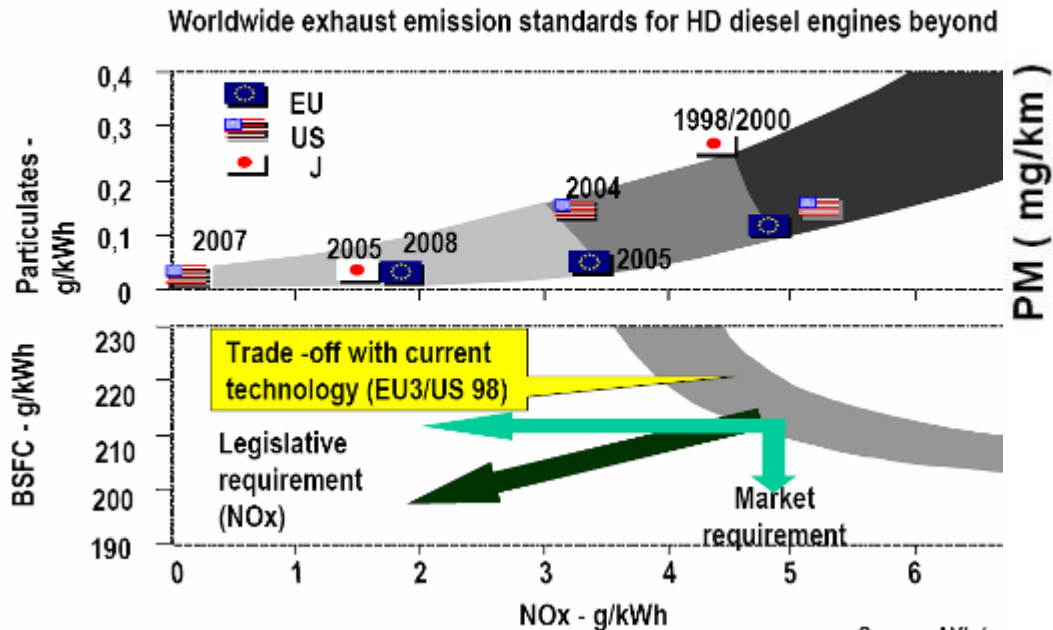


ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

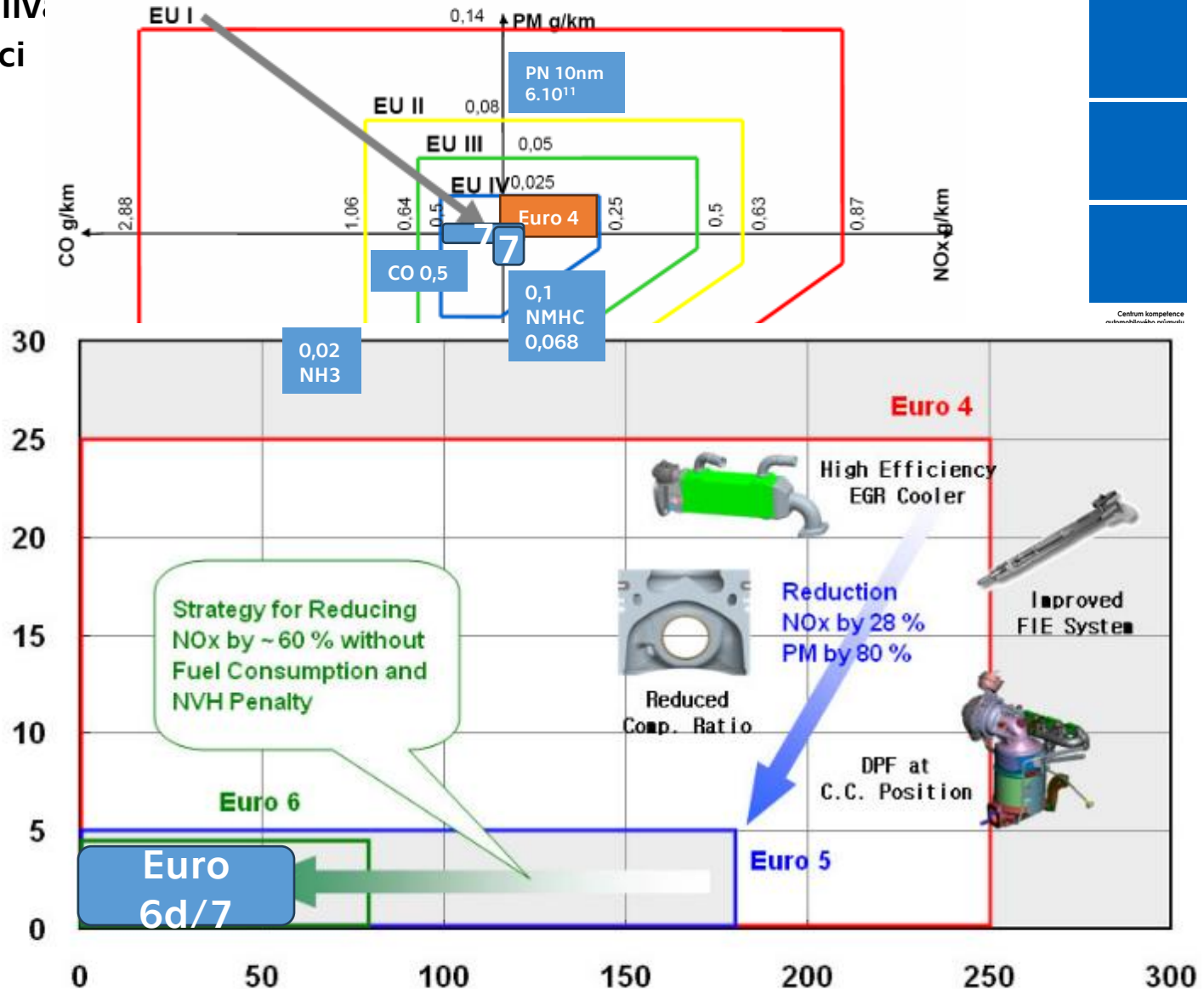
4. Snižování zdravotních škodlivin – Euro 6-7

- Vedlejším efektem je vždy navýšení spotřeby paliva kvůli nutným změnám průběhu hoření, recirkulaci výfukových plynů a dodatečným odporům ve výfukovém traktu.
- Nově i počet částic PN 10nm 6.10^{11}
- Retrofity starších vozidel nejsou možné

Future emission standards for commercial vehicles and market requirements



European diesel emission regulations for passenger cars



Nařízení EU o snižování emisí skleníkových plynů

EU REGULATION ON CO2 EMISSION REDUCTION FOR PASSENGER CAR (M1) AND LIGHT COMMERCIAL VEHICLES (N1)

- **(EU) No. 2023/851 (earlier 2019/631) and No. 443/2009** regulates the average specific emissions of CO2 **for each manufacturer for new passenger cars which are registered in the EU in each calendar year until 2024**. (EC) No. 510/2011 regulates the same for light commercial vehicles. The community target for averaged CO2 emissions (based on NEDC) from all combined new car fleets is 95 g CO2/km by 2021 (with 95% fleet phase-in in 2020), nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2023/851 ze dne 19. dubna 2023, kterým se mění nařízení (EU) 2019/631, pokud jde o zpřísnění výkonnostních norem pro emise CO2 pro nové osobní automobily a nová lehká užitková vozidla v souladu s ambicióznějšími cíli Unie v oblasti klimatu
- For LCV the target is 147 g CO2/km for 2020.
- If the manufacturer's averaged CO2 is above its specific target, an excess emissions premium (penalty) applies. The annual premium is €95 per g/km above the manufacturer's individual target multiplied by the number of vehicles sold during the year by the manufacturer.
- WLTP was introduced in Sept 2017 to replace the NEDC. From 2017 to 2020, the CO2MPASS correlation tool is used to transpose CO2 emissions measured on WLTC into NEDC values that are used to evaluate the manufacturers performance in regards to its CO2 target, and to calculate possible excess emissions premium. In 2020 the CO2 emissions of all new vehicles will be determined with both NEDC and WLTP, in order to set the specific emission target for 2021.
- The CO2 emissions of plug-in hybrids (PHEVs) are determined according to a formula dependent on their electric range. A PHEV with 40km electric range receives a "utility factor" of 0.7 and a CO2 emission value equal to 0.3 times its value when running on the internal combustion engine. The calculation of the utility factor is being adapted according to real-world data and may be gradually reduced from 2024, ultimately by a factor of up to 2.



ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

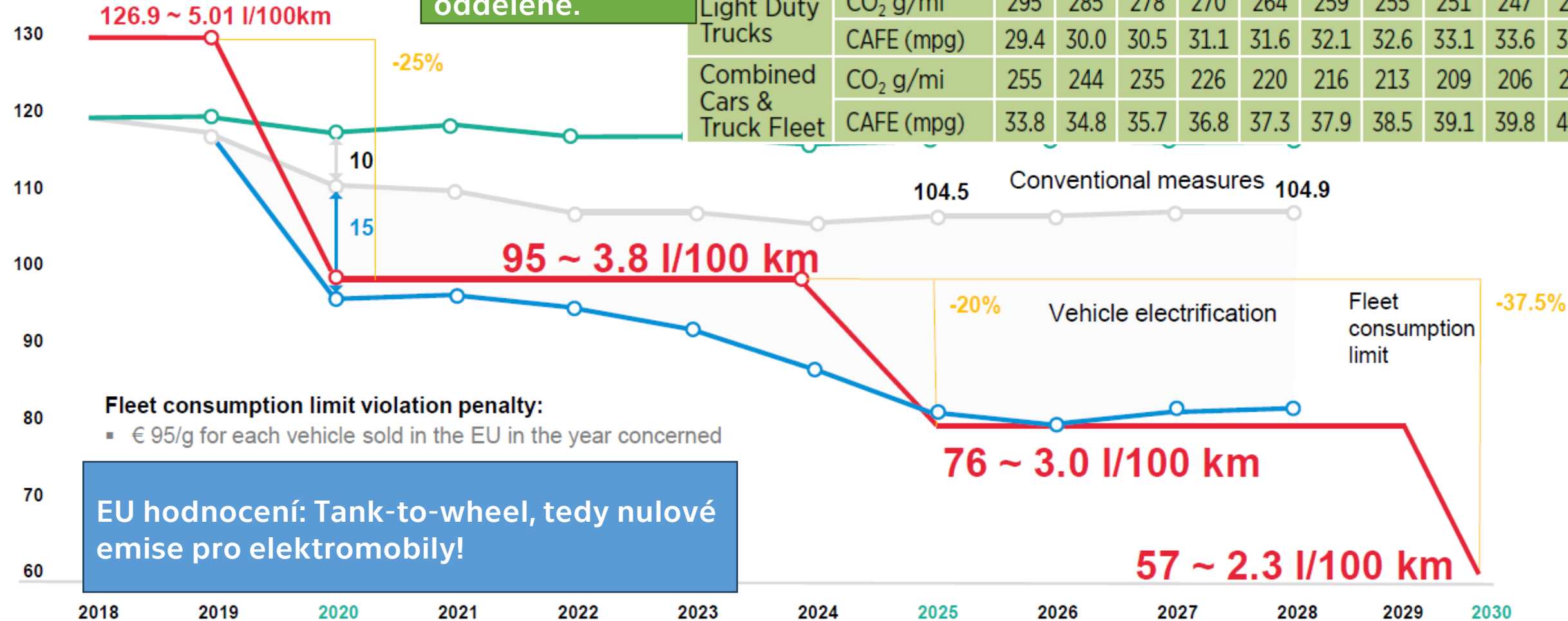
CO2 Penalties

Motivation of producer

CO₂_{eq} [g/km]

USA (limity
nutno dělit 1,609
km/mi!)
Metan a N₂O ne
jako v EU, ale
odděleně.

Vehicle Category & Standard		Average of OEMs' CAFE and CO ₂ Estimated Final Requirements ²⁾										
		Model Year										
		2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	
Passenger Cars	CO ₂ g/mi	219	208	197	188	183	180	177	174	171	168	
	CAFE (mpg)	39.0	40.4	41.9	43.6	44.2	44.9	45.6	46.3	47.0	47.7	
Light Duty Trucks	CO ₂ g/mi	295	285	278	270	264	259	255	251	247	243	
	CAFE (mpg)	29.4	30.0	30.5	31.1	31.6	32.1	32.6	33.1	33.6	34.1	
Combined Cars & Truck Fleet	CO ₂ g/mi	255	244	235	226	220	216	213	209	206	202	
	CAFE (mpg)	33.8	34.8	35.7	36.8	37.3	37.9	38.5	39.1	39.8	40.4	



Proč nejsou elektromobily obecným řešením?

- **Revoluce vždy přináší nová nevyzkoušená řešení.** Ne vše nové je nutně lepší. Široký přesah mimo dopravní oblast. Nutnost holistického přístupu. Častý individualistický přístup: **Ale pro mne je to výhodné.**
- Určitě ano, co se hluku, radosti z jízdy i možnosti vlastního nabíjení nezávislého na síti týče.
- Do jisté míry snižují i lokální zdravotní škodliviny, pokud s nimi srovnáváme stará vozidla (průměrný věk v ČR asi 16 let) v hustě zalidněných oblastech.
- Starý princip se stále stejnými omezeními danými malou měrnou energií akumulátorových baterií a nevyžitelností odpadních energií (**topení, odmlžování, odmrazování**).
- **Mýty:**
Nulové skleníkové emise – ale jen v provozu a metodou Tank-to-Wheels, TTW.
Jiné podmínky výroby i provozu. Hodnocení LCA nutné, jak v energiích a emisích, tak materiálech. KONKURENCESCHOPNOST EVROPSKÉHO HIGH-TECH AUTOPRŮMYSLU.
Cena provozu (Total Cost of Ownership, TCO) – elektrická energie, zdanění, údržba a odpisy baterie.
NENÍ TO: Podmínka autonomní jízdy nebo car sharing systémů (Mobility as a Service, MaaS).
NEZAJISTÍ: Zmenšení intensity provozu a dostatek parkovacích míst. Nevýhody vedou ke konstrukci velkých vozidel, tedy ne malá městská vozidla.



1. Motivace ke změnám systému mobility: Nové možnosti hnacích jednotek různých vozidel

- Motivace k výzkumu v konstrukci vozidel byla vždy, v posledních 30 letech s rozvojem mechatroniky se zdůrazněním úlohy řídicího systému. Holistické pojetí včetně interakce vozidla s dopravním systémem nabývá na důležitosti v posledních 15 letech s požadavky GDfE, Ff55 a s možnostmi AI.
- Problémem je v **evropském jednostranném pojetí** akumulace primární energie v jejím nosiči (palivo, elektřina) s ohledem **na cenu nosiče samotného, cenu hnací jednotky** a emisního systému (který ovšem skleníkové plyny neodstraní).
- Uskladnění nosiče energie a „transformátor“ energie na mechanickou práci vozidla musí být rozumně přepravitelný (hmotnost, objem) a účinný. **Jeho vlastnosti a dopad na vozidlo i infrastrukturu se musí posoudit souhrnně.**
- Zde se soustředíme na automobily jako celek – extrapolujeme vlastní i přejaté zkušenosti s pokročilými hnacími jednotkami automobilů na budoucí možnosti.



ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

2. Základní vlastnosti vozidel, způsoby hodnocení spotřeby primární energie

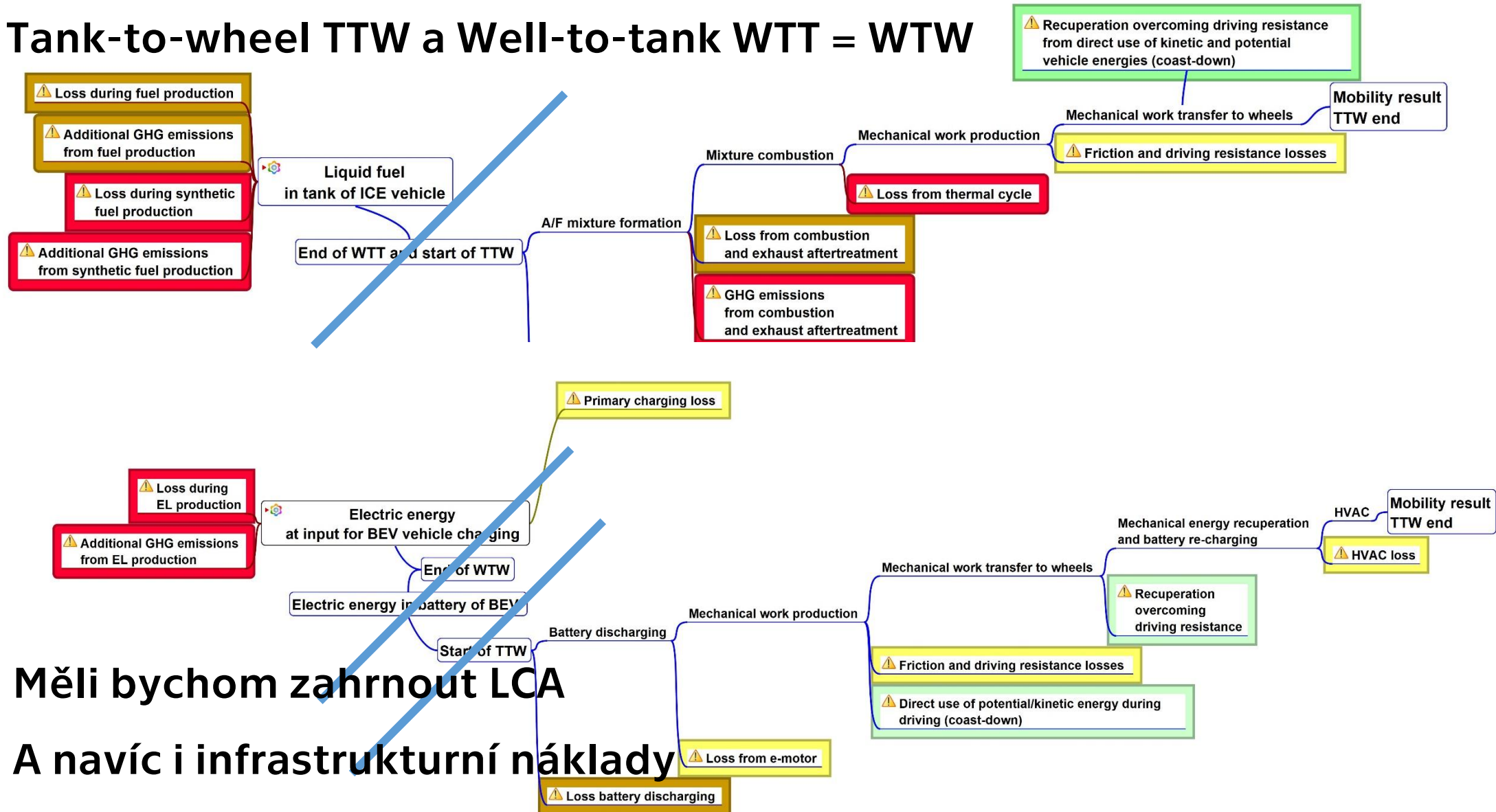
- Dráhová spotřeba paliva – kWh/100 km – závisí na **jízdních odporech** (síla), **úměrných hmotnosti vozidla** + odporu vzduchu, závisícího na druhé mocnině rychlosti, **dělených účinností přeměny energie ze zásobníku na kola TTW**. Na druhu nosiče energie a hnací jednotky závisí pak emise skleníkových plynů. $10 \text{ kWh} = 1 \text{ l motorové nafty} = 36 \text{ MJ}$.
- Elektrickou energii není a v dohledné době **nebude možno vyrobit ani akumulovat** úplně bez emisí skleníkových plynů.
- Elektrická energie je vždy již transformována z nějaké „méně kvalitní“. Proto mají elektrická vozidla vyšší účinnost TTW, ne však WTW.
- K uvolnění akumulované energie nutná oxidace (v širším slova smyslu). Hmotnostní výhodou je, pokud se **oxiduje palivo kyslíkem z atmosféry**. Proto jsou **baterie velmi hmotné** – 0,1 – 0,2 kWh/kg. Plynná paliva zvyšují **hmotnost jak při zkapalnění (NG), tak stlačení (vodík, NG)**.



ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

2. Základní vlastnosti vozidel, způsoby hodnocení spotřeby energie a emisí

■ Tank-to-wheel TTW a Well-to-tank WTT = WTW



■ Měli bychom zahrnout LCA

■ A navíc i infrastrukturní náklady

2. Základní vlastnosti nosičů energie, způsoby hodnocení akumulace primární energie v nich

- **Emise skleníkových plynů závisejí na celém řetězci přeměn energií a materiálů** od výroby vozidla a zásobníku nosiče energie až po zajištění trakční práce na kolech a po recyklaci vozidla – rozlišují se **emise v životním cyklu LCA**, v němž část tvoří emise **od zdroje nosiče energie po naplněný zásobník WTT** a od **zásobníku na kola TTW**. Nabíjení akumulátoru se ztrátami = čerpání benzínu dřevavou hadicí.
- Pro přechod k „čisté“ mobilitě nutno započítat i **emise na budování infrastruktury počínaje výrobou energie a na údržbu** během jejího provozu. „Účinnost“ je pak nutno zobecnit.
- **NUTNO TEDY HLEDAT NEJLEPŠÍ KOMPROMISY, KTERÉ PRO RACIONÁLNÍ ČISTOU MOBILITU SAMOZŘEJMĚ EXISTUJÍ.**
- **Technologická neutralita** se v minulosti osvědčila v protikladu k vnucováním politických rozhodnutí, někdy prováděných i skrytě.



ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

2. Základní vlastnosti vozidel – energie, emise, způsoby hodnocení

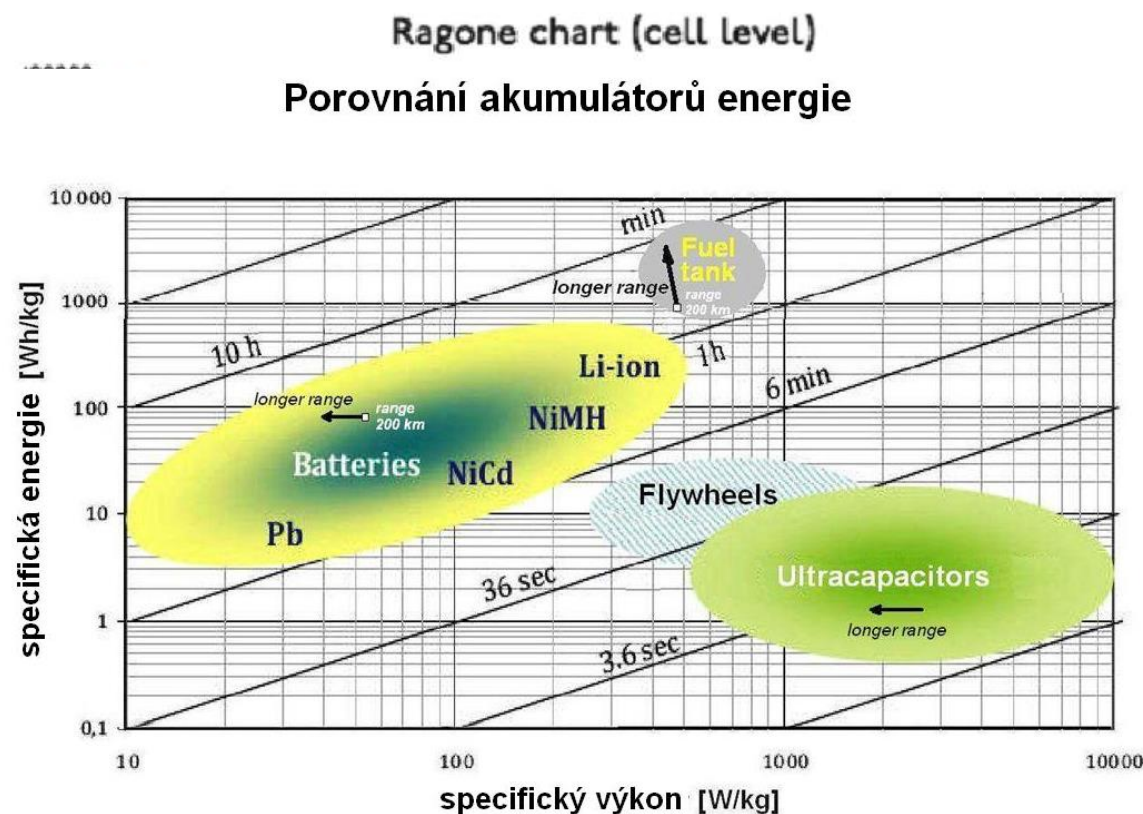
- Pokud chceme zavést **NOVÉ MÓDY MOBILITY**, musíme počítat **průměrného uživatele a nezapomínat na konkurenceschopnost průmyslu ani na náklady budování infrastruktury pro distribuci - kontrast západu, středu i jihu Evropy.**
- Často se argumentuje **průměrnými výkony nebo ročními spotřebami.** To platí jak pro elektromobily v jednostranném pojetí EU, tak pro OZE:
- Pokud denně ujedu 33 km (nájezd asi 12 000 km/rok) při 21 kWh/100 km potřebuji nabít pomalu $21/3=7$ kWh. **Na průměrný nájezd by mi stačila baterie s rezervou asi 12 kWh80 kg! Proč tam mám tedy 50-80 kWh o hmotnosti 330-530 a více kg? Protože skutečná spotřeba je větší, ale často jedu dále a jednorázově potřebuji nabít více (weekend).** A tohle platí u všech argumentací průměry – vždy potřebuji o hodně **více ve výkonu = energie/čas.**



ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

2. Základní vlastnosti vozidel – energie, emise, způsoby hodnocení

- Nutno rozlišovat energii a práci ($\text{MJ} = 10^6 \text{J}$, $\text{GJ} = 10^9 \text{J}$, $\text{TJ} = 10^{12} \text{J}$, $\text{PJ} = 10^{15} \text{J}$, $\text{EJ} = 10^{18} \text{J}$, $\text{kWh} = 3.6 \text{ MJ}$ atp.) od okamžitého výkonu (kW , MW atd.). Průměrné energetické hodnoty nejsou obvykle rozhodující pro cenu zařízení (s výjimkou maximální využitelné energie uložené do baterie, např. v kWh), zatímco hnací motory, generátory, síťové prvky (vedení, transformátory) jsou cenově závislé právě na maximálním výkonu.
- Průměrný výkon OZE (občasné zdroje energie) je velmi odlišný od jmenovitého či špičkového (peak, Wp u FVE) – pro FVE (fotovoltaické elektrárny) a ČR asi 12% jmenovitého, u VE (větrné elektrárny) asi 20%, u vodních přečerpacích HE asi 30%.
- **Měrné energie a výkony se musí srovnávat na srovnatelné úrovni (elektrické baterie: článěk, sada článků v seriovém zapojení (stack), paralelní sada s příslušnými sběrníci (battery pack), baterie s chlazením článků a obalem (battery)).**



3. Konstrukce a provozní parametry vozidla v souvislosti s různými módy mobility

- Home-office (nerealizovaná doprava).
- **Elektrokola a elektroskútry** kategorie UN L1 až L5.
- **Elektromobily pro individuální dopravu BEV** (L6 a 7, M1) – vedle **nabíjecích hybridů PHEV i plných hybridů HEV** se **spalovacím motorem ICE** – samotný **spalovací motor** nebo **vodíkový palivový článek PEMFC**.
- **Spalovací motory** v M1 s **vodíkem** i se **syntetickými palivy** (e-fuels).
- Autobusy M2 a M3: **spalovací motory na vodík, biometan nebo na syntetická paliva**, v MHD dále **elektrobusy** nebo **polozávislá trakce trolejbusů / elektrobusů**, časem **vodík a PEM FC**.
- **Elektrifikovaná hromadná kolejová doprava** i rychlostní do vzdálenosti cca 1 000 km, na **vedlejších tratích BEV, FC a ICE**. **Elektrifikovaná nákladní doprava** pro hromadné substráty a zásilky nebo kombinovaná.
- Obsazení vozidla více cestujícími a jeho automatický návrat do místa poptávky (Mobility as a Service, Delivery as ... MaaS nebo DaaS).
- „Last-mile“ dodávky (N1, N2) – **BEV** i pro komunální a podobné účely.
- Dálková silniční doprava – **ICE**, nevhodné použití baterií, vodík v **ICE** i **PEM FC**. Elektrifikace dálnic = velmi drahé řešení, tahače s baterií pro dojezd mimo dálnici.
- **Kombinovaná přeprava** - zatím nedostatečná kapacita i logistické schopnosti železnic.



3. Konstrukce a provozní parametry vozidla: Moderní baterie Li-ion (LiCoO_2 , LiFePO_4)

Snaha o plně vratné reakce. Náboj se zachovává!

Li atomy procházejí po ionizaci elektrolytem i separátorem (nevodičem elektronů).

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 LiCoO_2 s Mn anebo Ni nebo Li(Y)FePO_4 .

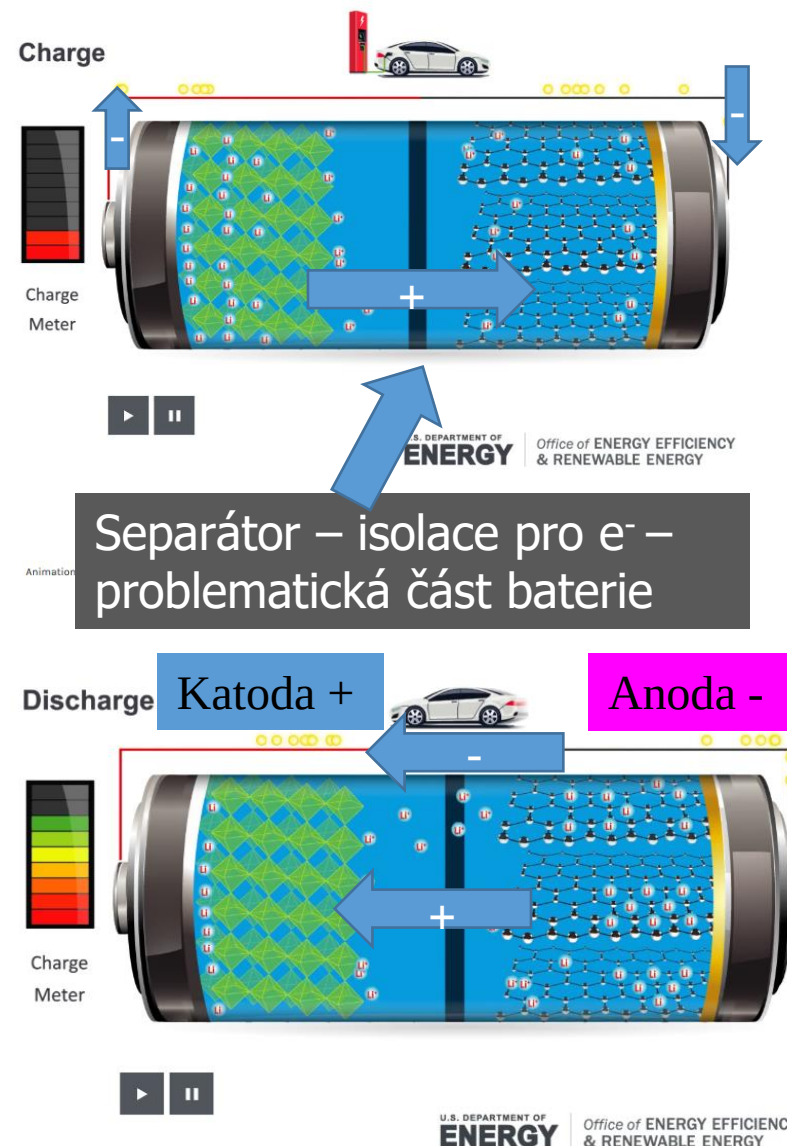
Hustoty energie dnes kolem 100-150 Wh/kg (30 kWh = 3 dm³ nafty = cca 6 ekvivalentních dm³ nafty pro spalovací motor ... 300-200 kg) s výhledem snad na 250 Wh/kg.

Nelze intenzivněji vybíjet 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>

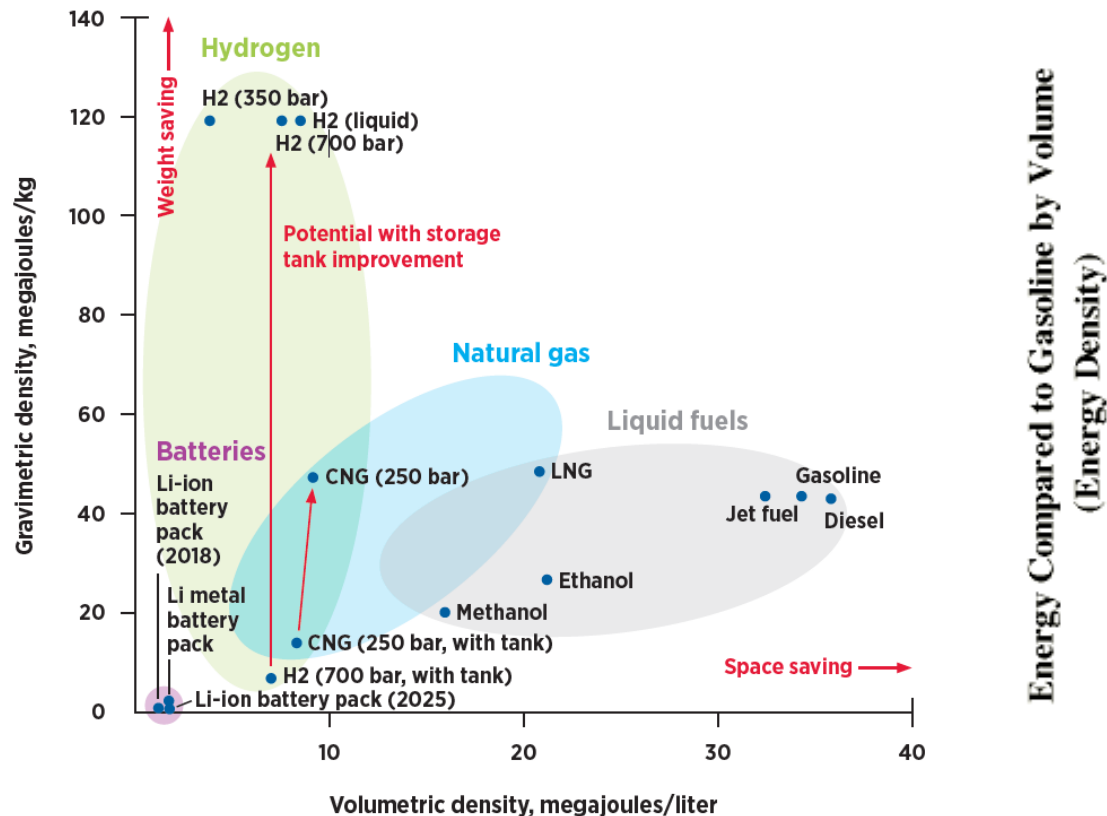
https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion_battery

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



3. Energetické a emisní hodnocení – hustota energie – TTW

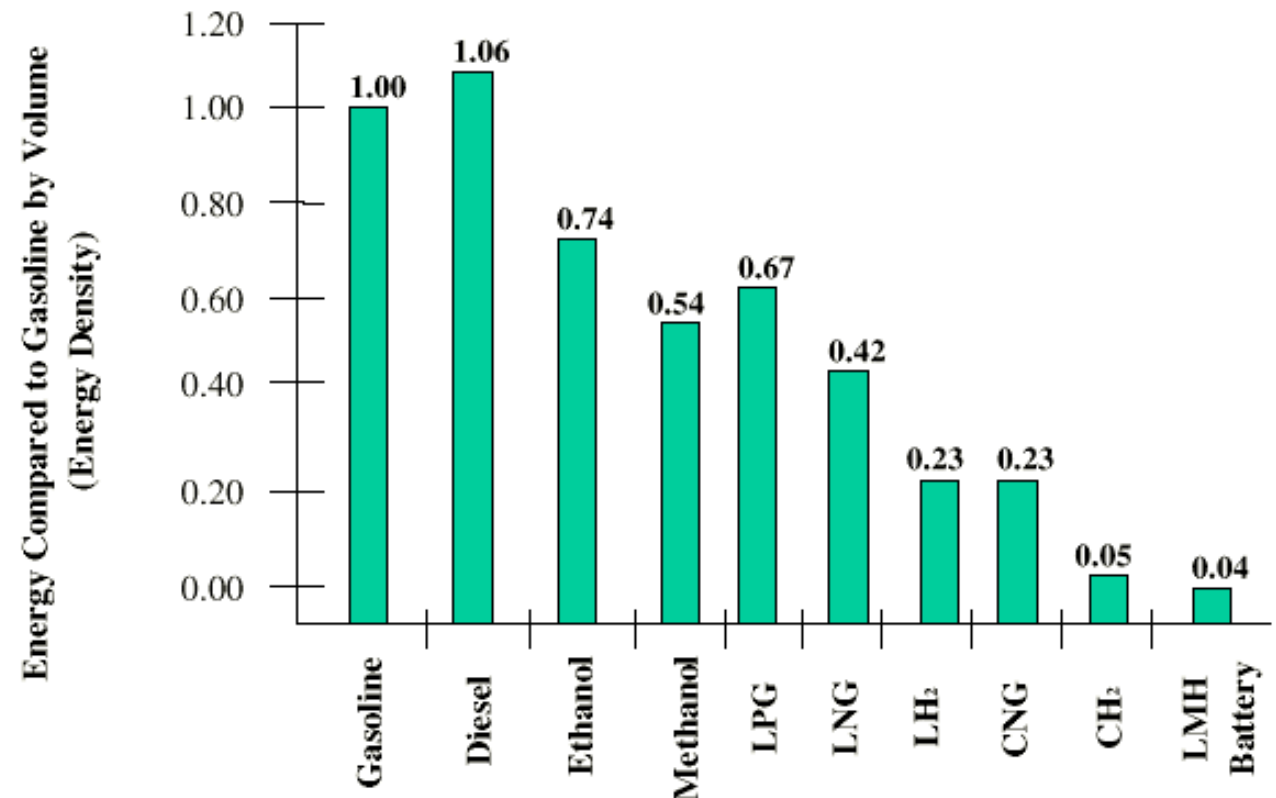
S ohledem na hmotnost hnací jednotky nutno vzít v úvahu také měrnou energii a energetickou hustotu paliva se zásobníkem
1 MJ=1/3,6 kWh; 1 dm³ nafty=10 kWh



Sources: Argonne National Laboratory, GREET model fuel specifications;
AABC (Advanced Automotive Battery Conference) for Li-ion battery performance;
with Chevron internal compilations.

Figure 5-2

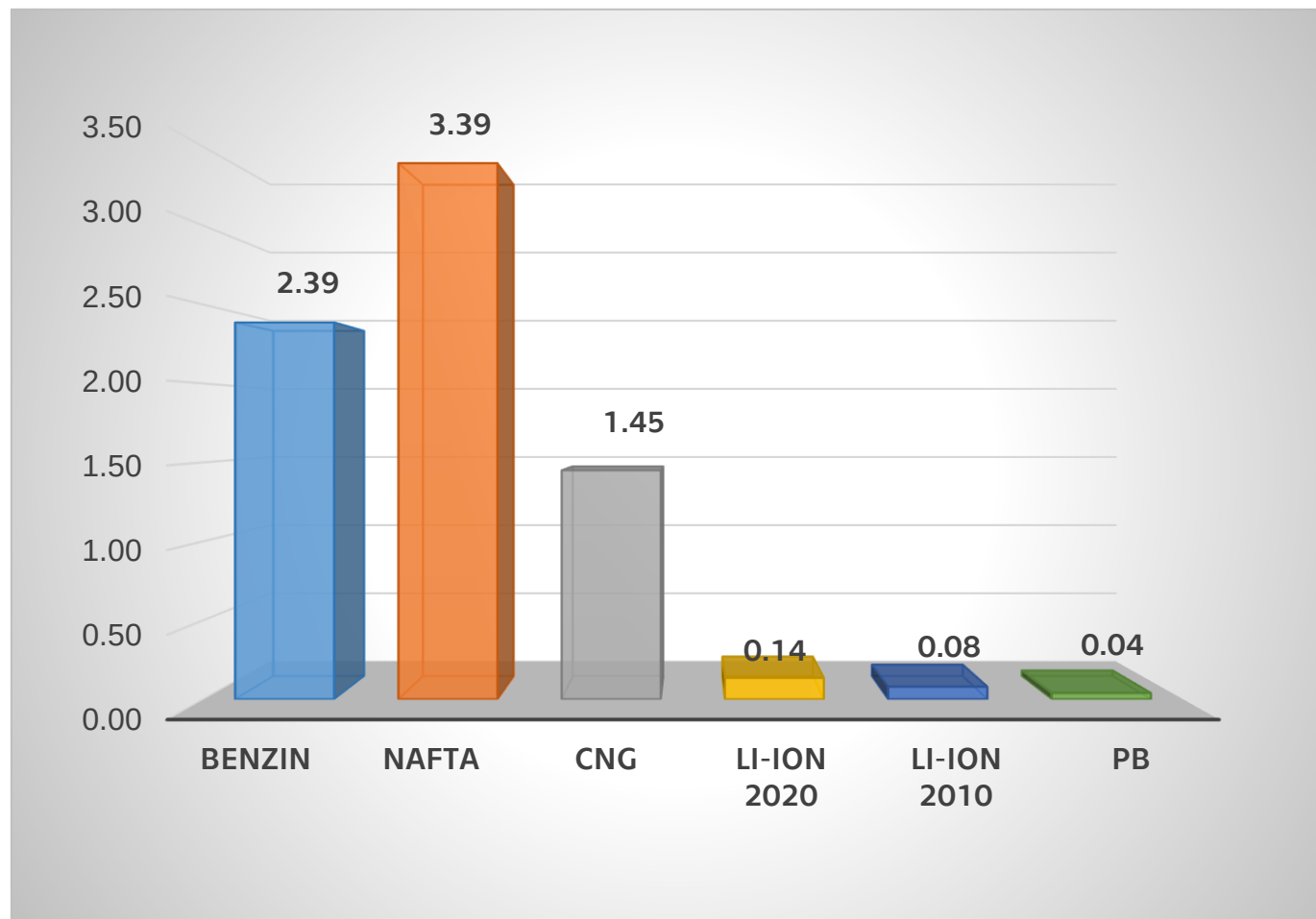
Energy Densities of Alternative Fuels Relative to Gasoline



3. Energetické a emisní hodnocení – měrná energie – TTW

... ale navíc ještě také účinnost zpracování energie ze zásobníku

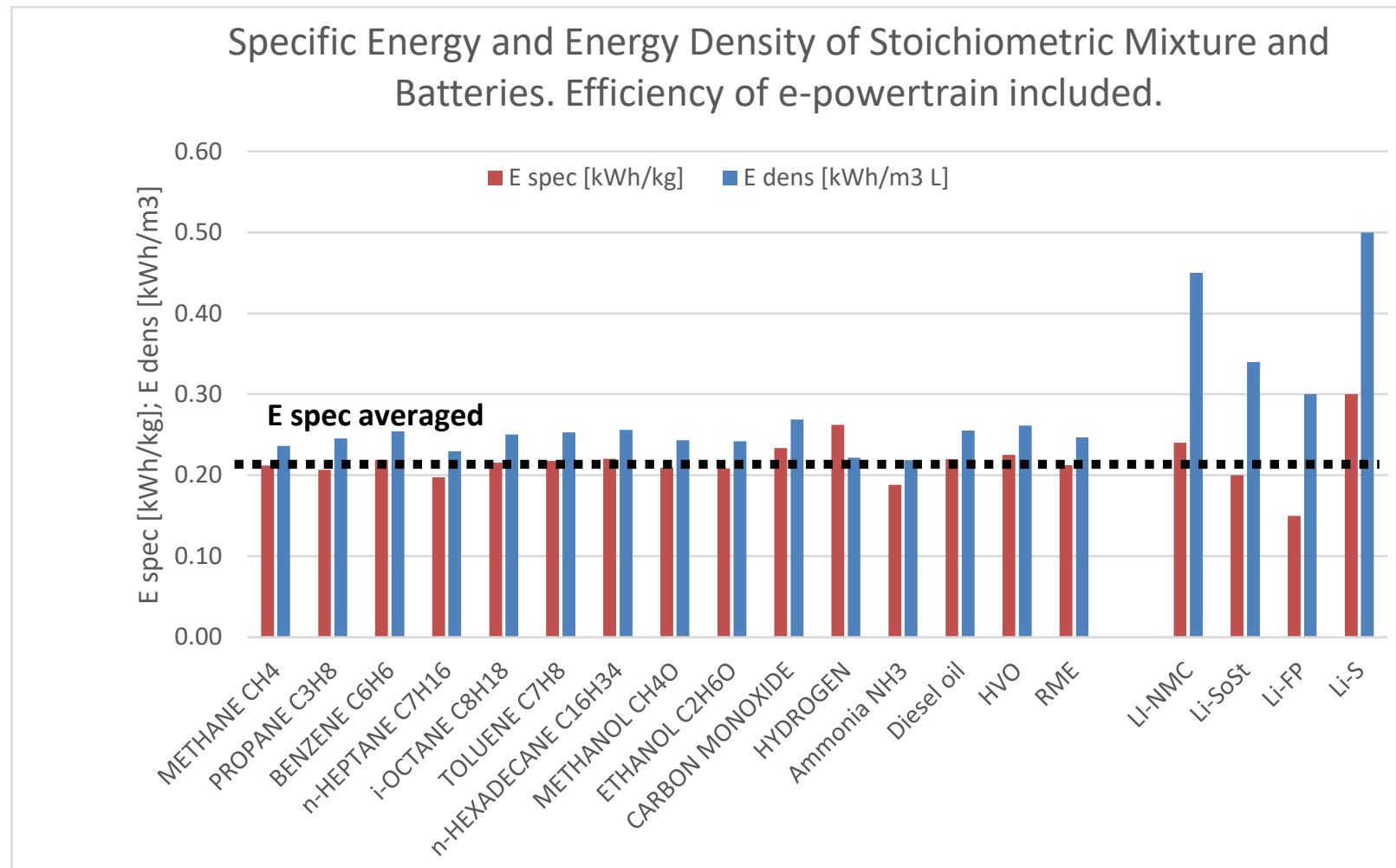
Specific energy in tank (accounting for efficiency)
[kWh/kg]



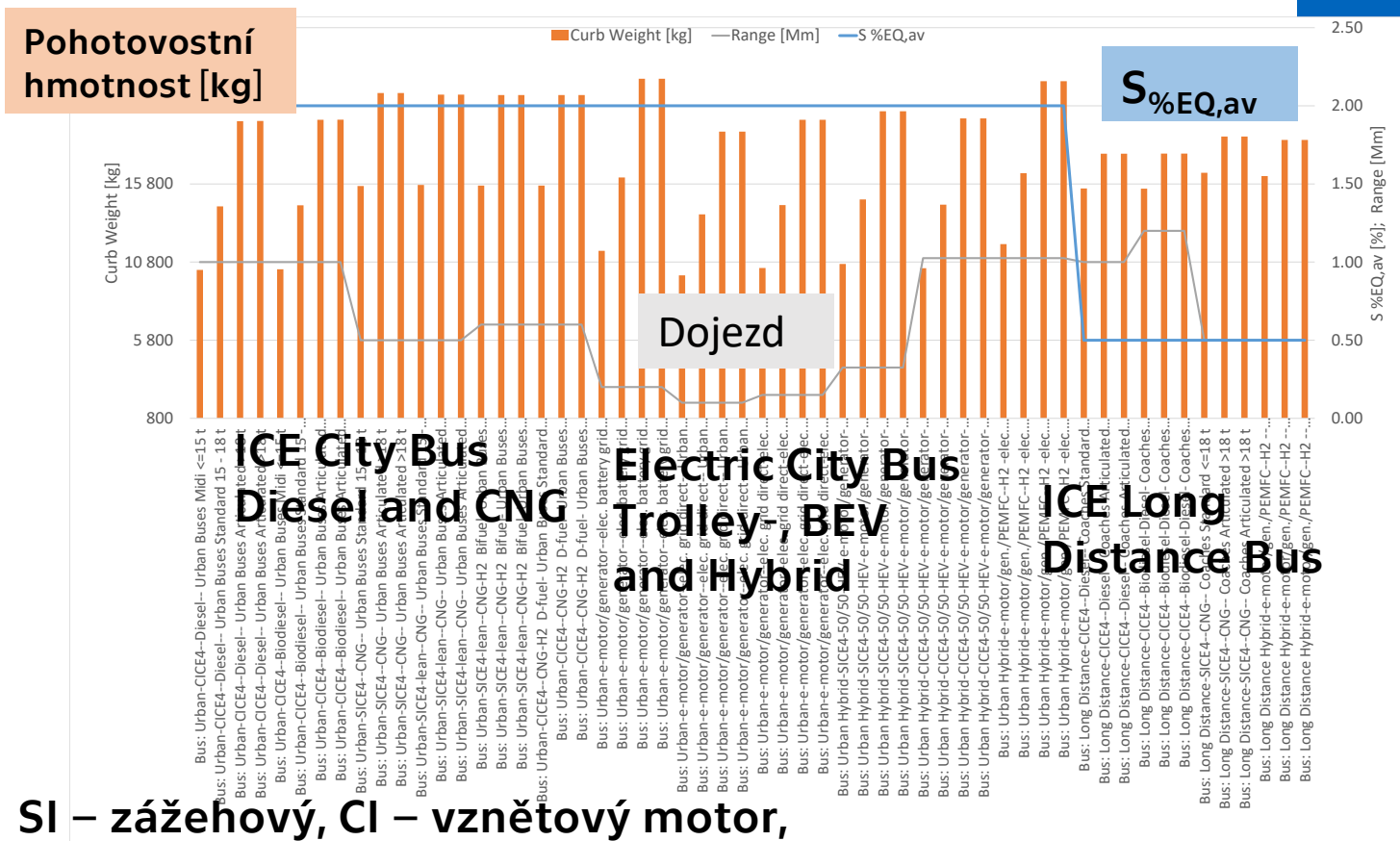
3. Energetické hodnoty - výhřevnost stechiometrické směsi, související s adiabatickou teplotou plamene

Zajímavé je, že přes velmi rozdílné výhřevnosti paliv a stechiometrické směšovací poměry je výsledná výhřevnost směsi vztažená na 1 kg nebo 1 m³ směsi téměř stejná.

Doplněny měrné energie baterií. Směs pro pohon vozidla se nikde neskládá, je nahrazena jen samotným palivem, takže měrná energie zásobníku vychází pak podstatně vyšší než u baterie.



Výchozí podmínky pro spotřebu energie – hmotnosti M1, M2 a M3


$$\frac{22}{47}$$

3. Konstrukce a provozní parametry vozidla od vstupu pro plnění zásobníku na kola – TTW

Dráhová spotřeba energie

$$E_{road} = \frac{F_{av}(W_{av}, S_{eq,av})}{36\eta_{trans}} (1 + L(W_{av}, F_{av}))$$

[kWh/100 km = 0.1 dm³ motorové nafty/100 km]

- provozní režim existujících vozidel je charakterizován reprezentativní rychlostí a ekvivalentním sklonem vozovky $S_{\%EQ,av}$ (1,5 % osobní nebo dodávková, 0.5% nákladní dálková vozidla nebo dálkové autobusy, 2% městské autobusy atd.) – zahrne i zrychlení
- tyto režimy jsou pak použity pro všechny varianty paliv a pohonů v dané třídě vozidel.

Dráhová spotřeba energie závisí na

- jízdním odporu **F** podle hmotnosti vozidla v dané třídě (M1 ... PC medium) a jeho aerodynamiky, v čemž jsou obsaženy **hmotnosti pohonů i zásobníků paliv** dimenzovaných na dojezd dle účinnosti pohonu
- účinnosti pohonu TTW s respektováním roku výroby vozidla dle emisní normy (elektromotory, palivové články, baterie z hlediska nabíjení i vybíjení, nové koncepce plynových motorů na chudou směs nebo směsi s vodíkem atp.) včetně rekuperace mechanické energie
- elektrická energie zlepšuje potřebnou hmotnost poměru 1:2,5 – 1:3 pro osobní automobily, 1:2 pro nákladní automobily a kolejová vozidla

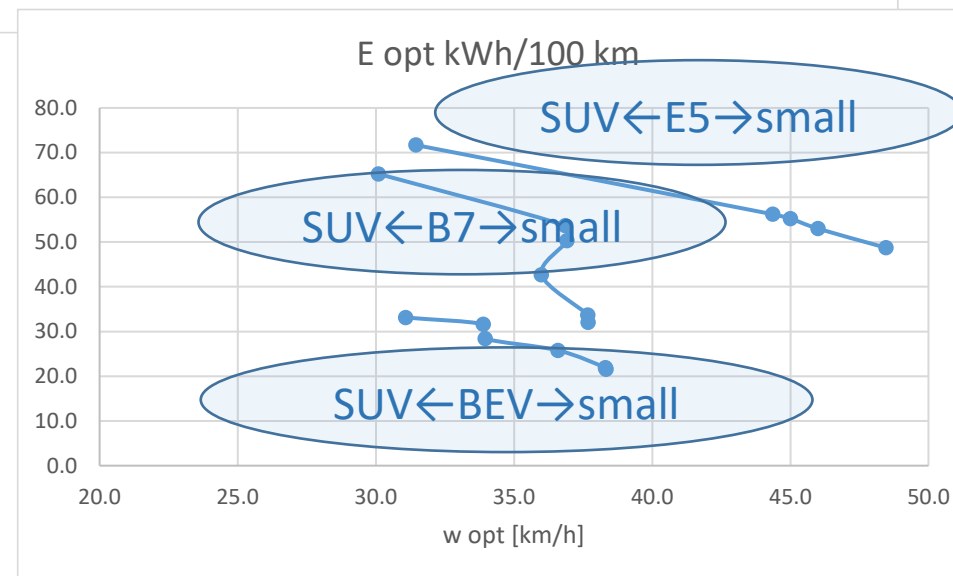
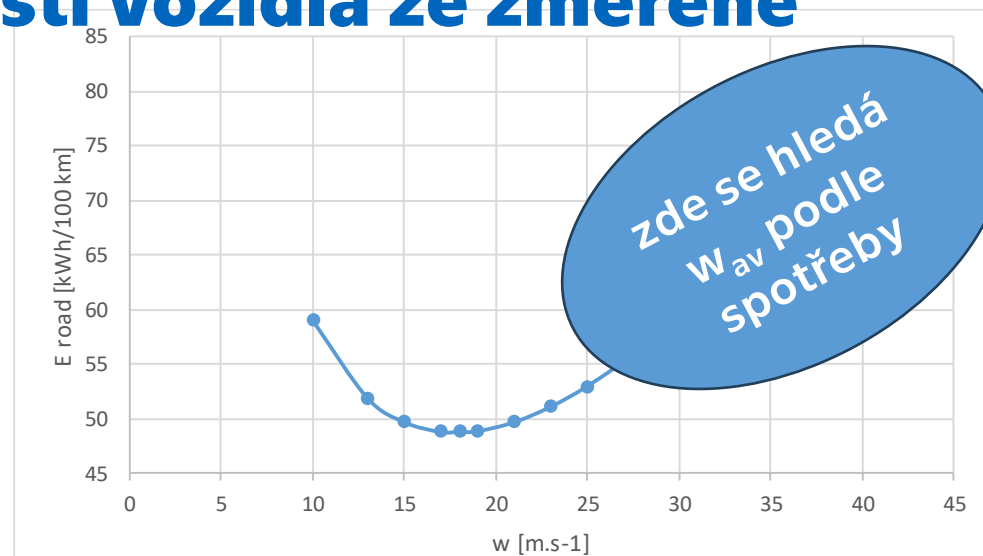


ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

3. Konstrukce a provozní parametry vozidla od vstupu pro plnění zásobníku na kola – TTW

Nalezení charakteristické rychlosti vozidla ze změřené střední provozní spotřeby paliva

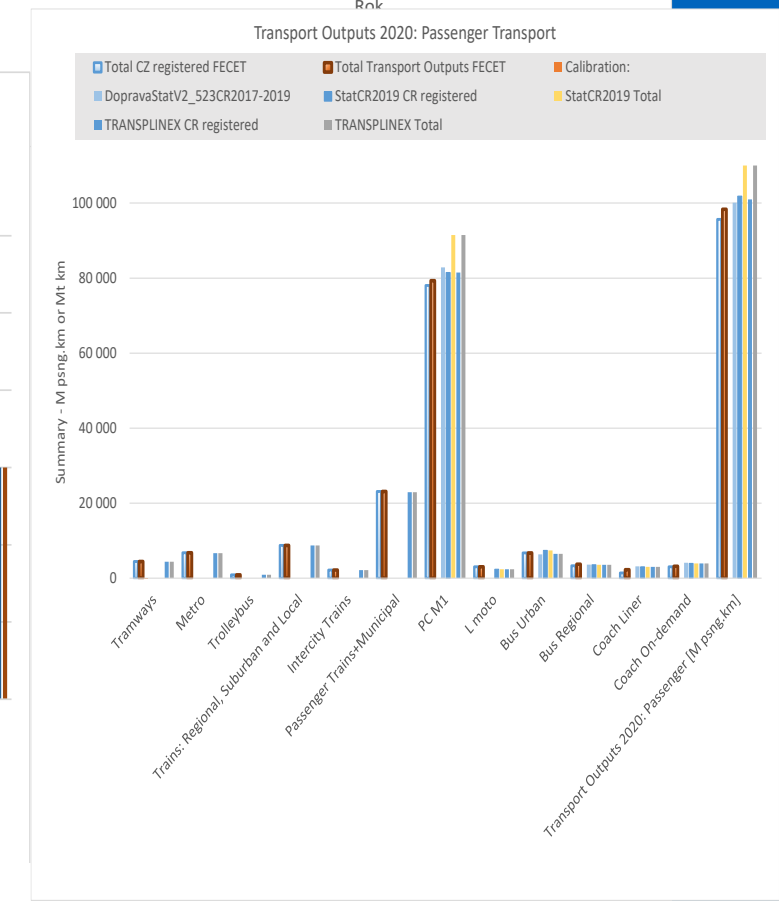
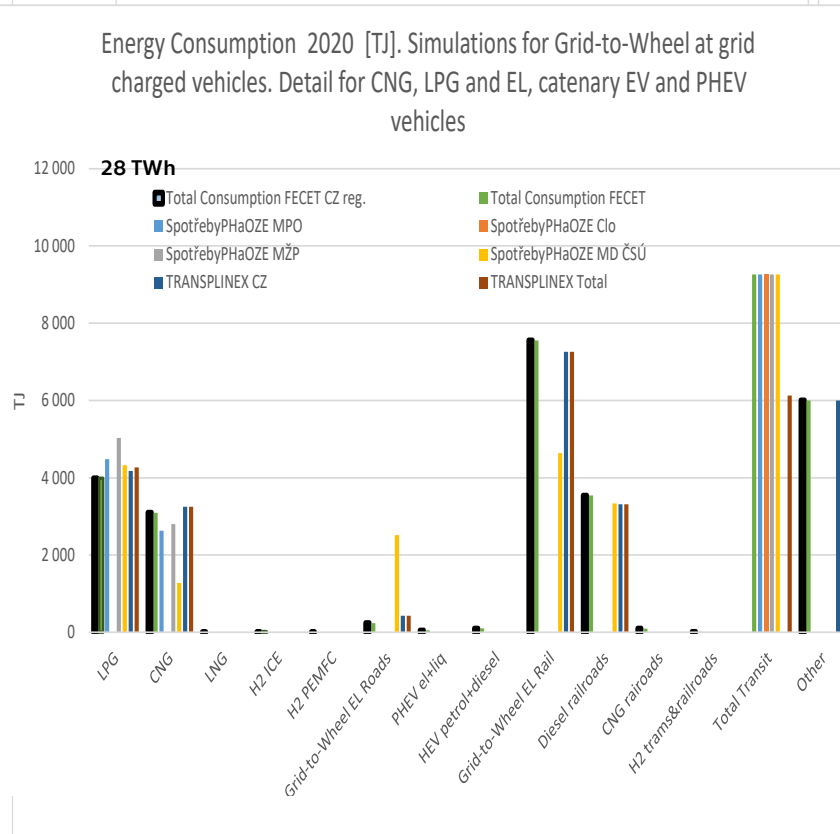
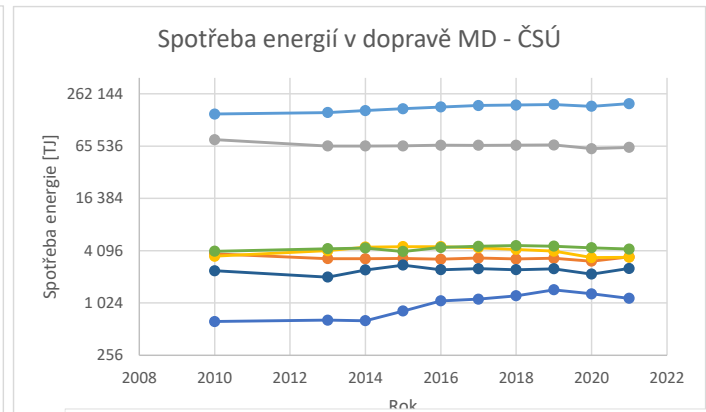
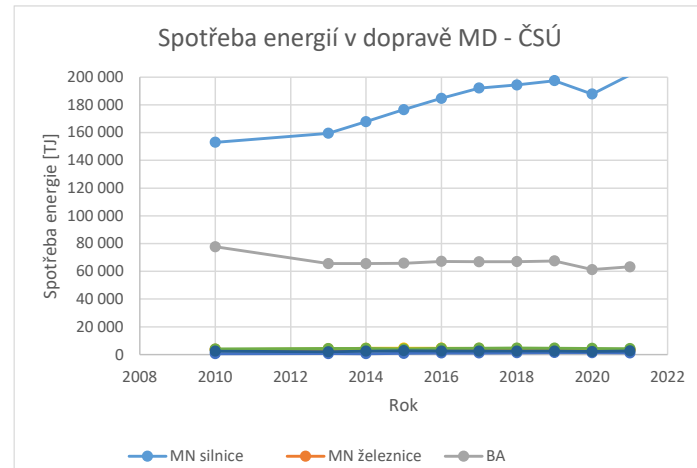
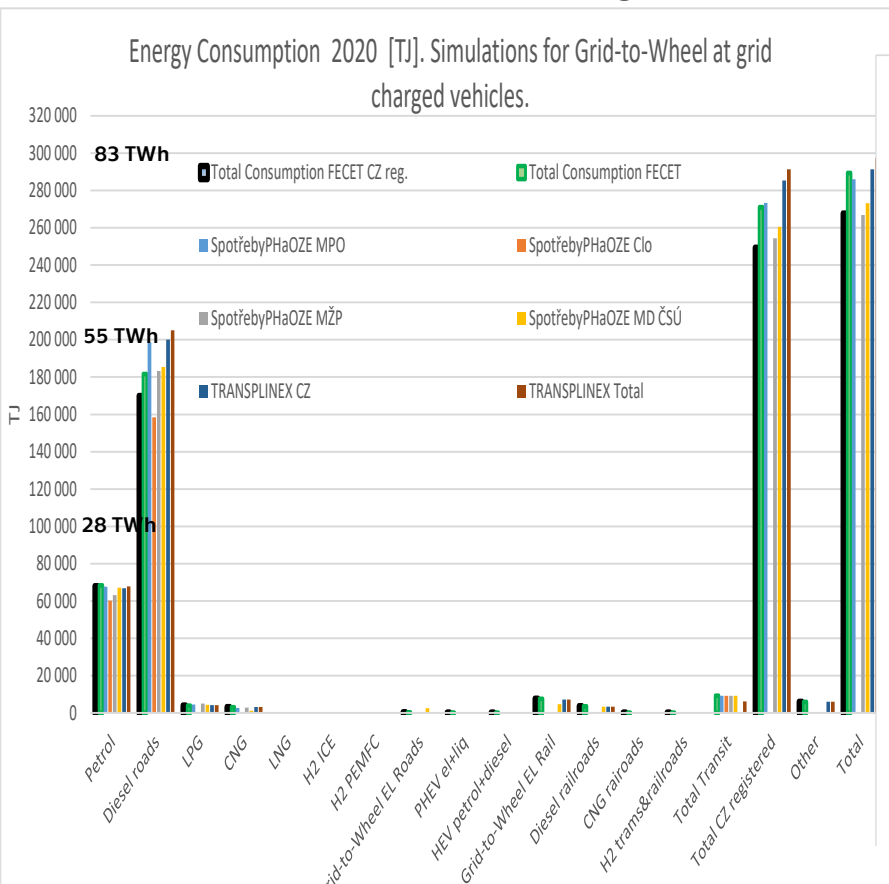
- Existence lokálního minima v průběhu dráhové spotřeby paliva při řešení nelineární rovnice pro danou spotřebu paliva (interakce zvyšování jízdních odporů s rychlostí vozidla a účinnosti pohonu rostoucí s jeho výkonem)
- Předpoklad úspory paliva a emisí při snížení rychlosti ve městech na 30 km/h, za nějž demonstrují extrémističtí environmentalisté. Optimální spotřeba paliva s příslušnou optimální rychlostí pro různé pohony vozidel různých velikostí třídy SUV včetně jejich bateriové verze by se k optimu přiblížila.
- Ostatní vozidla potřebují vyšší rychlost pro optimální spotřebu, pokud jsou motorizována tak, aby byla použitelná i mimo město.



3. Celkové spotřeby energií v dopravě

Kalibrace modelu

- Průměrné spotřeby a přepravní výkony 2017-2020 (téměř bez vlivu pandémie).
- Roční spotřeba ČR sítě cca 60 TWh, ovšem „ušlechtilé“ energie

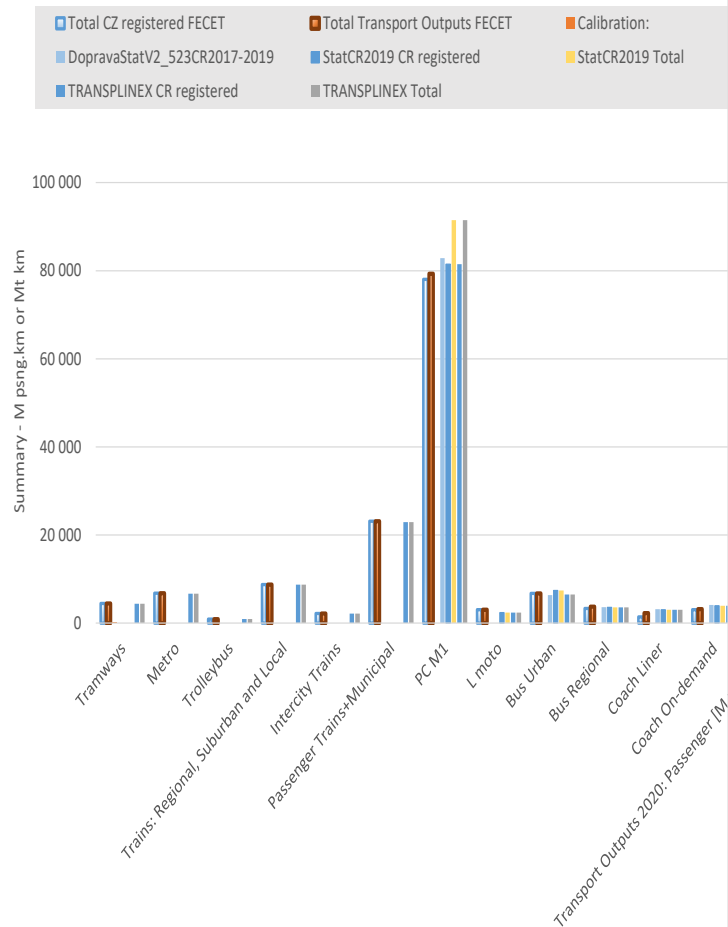


3. Počet vozidel a přepravní výkony

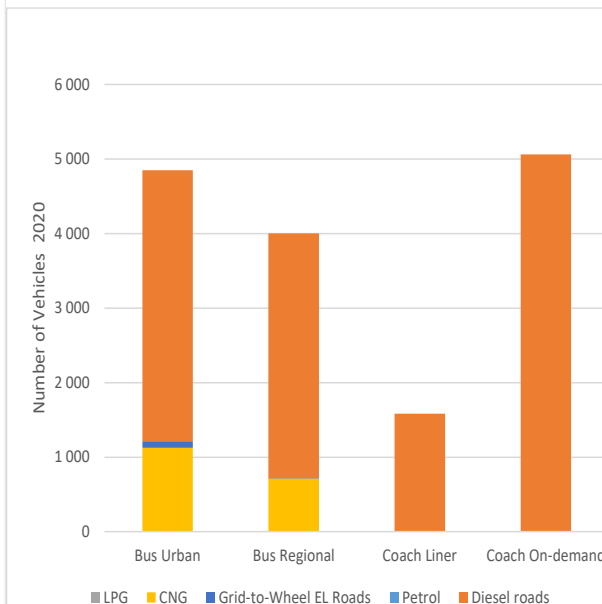
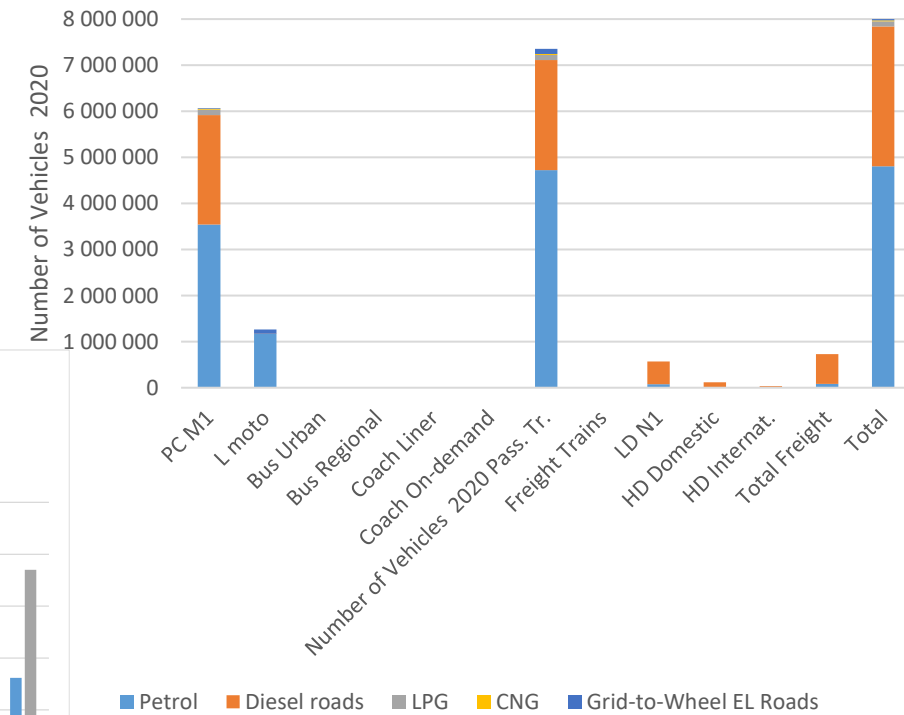
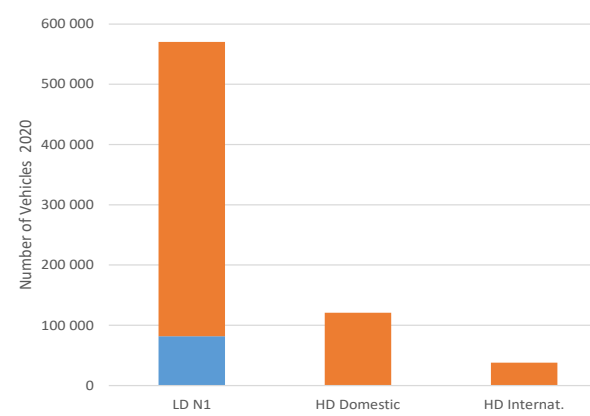
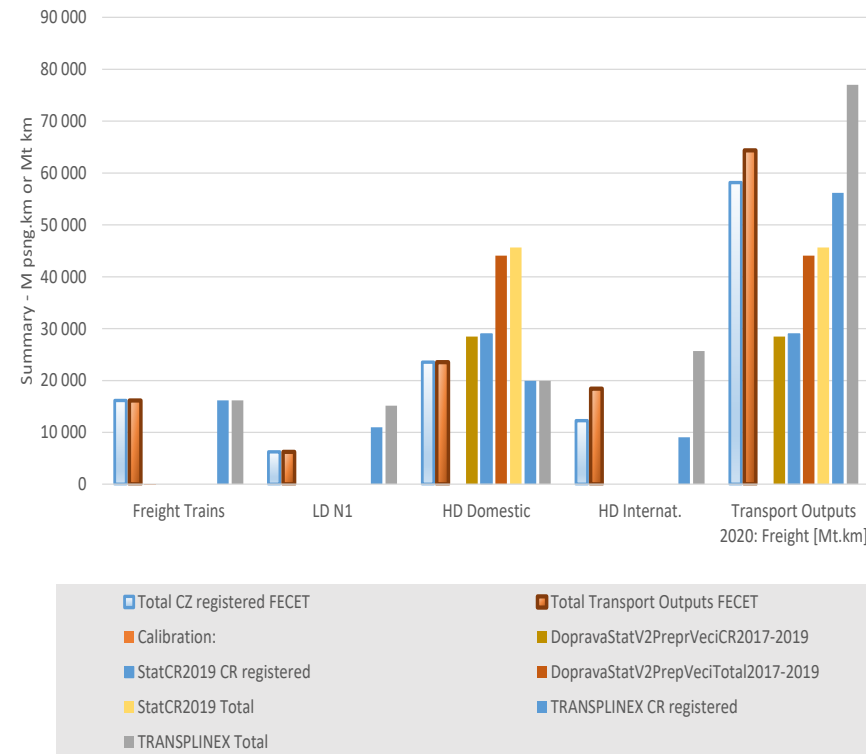
Vždy zvážit kvantifikované údaje!

Průměrné přepravní výkony a počet vozidel 2017-2020

Transport Outputs 2020: Passenger Transport



Transport Outputs 2020: Freight Transport



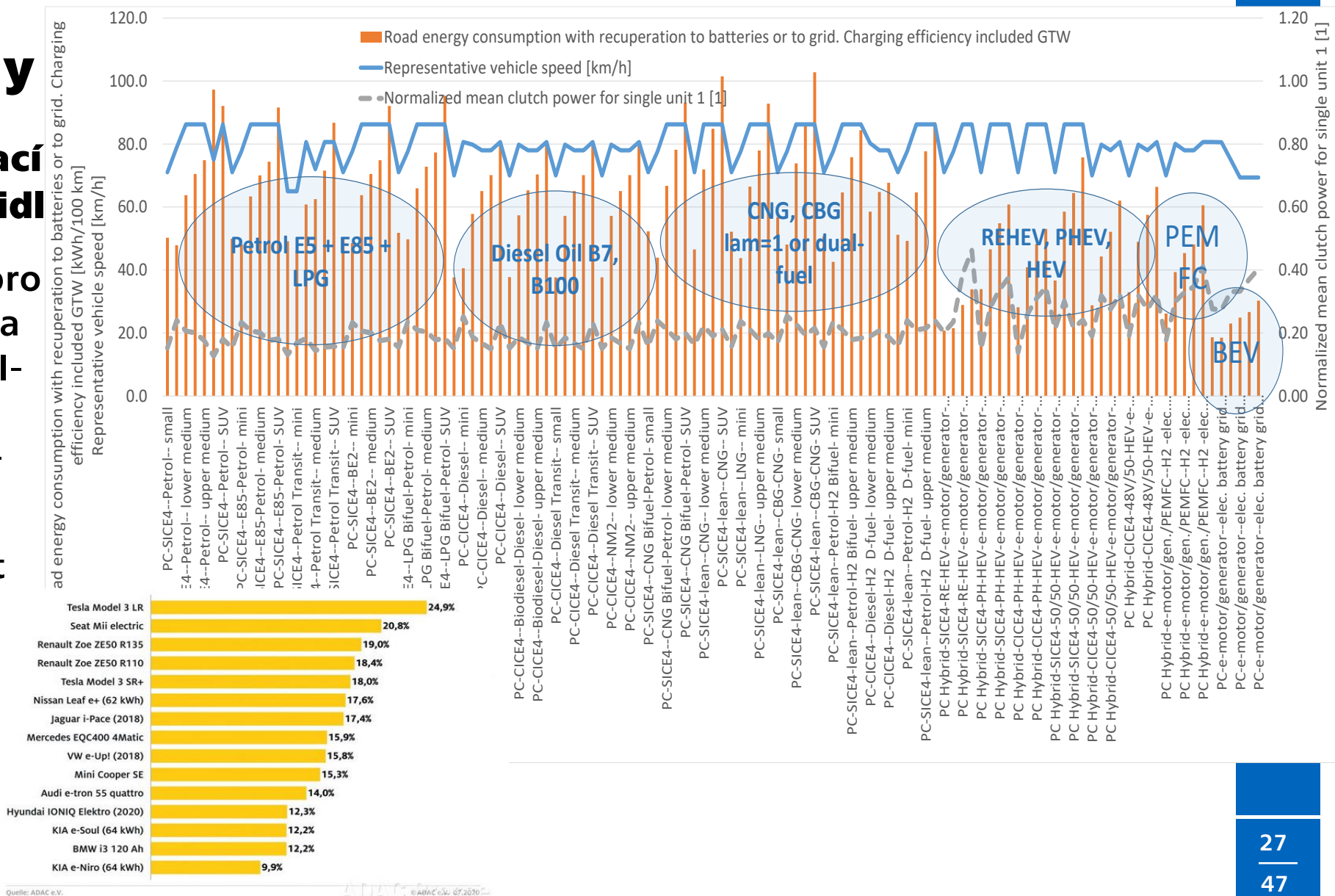
ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

3. TTW spotřeba na silnici

Osobní automobily

CDV: STK data s interpolací výsledků na všechna vozidla

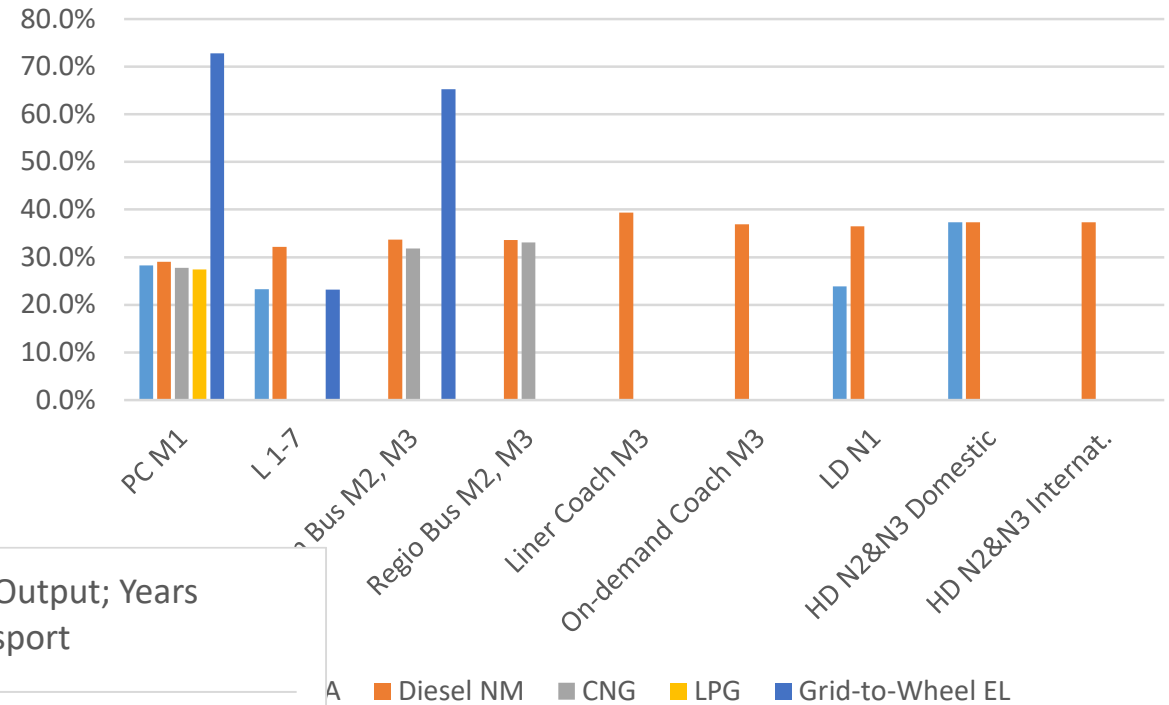
- Příklad spotřeby paliva pro nejčastější osobní vozidla M1 podle Euro 5 od small-mini-lower medium-medium-upper medium-SUV
- Charakteristická rychlost pro extrapolace na nová vozidla
- Účinnost nabíjení ze sítě dle statistik ADAC →



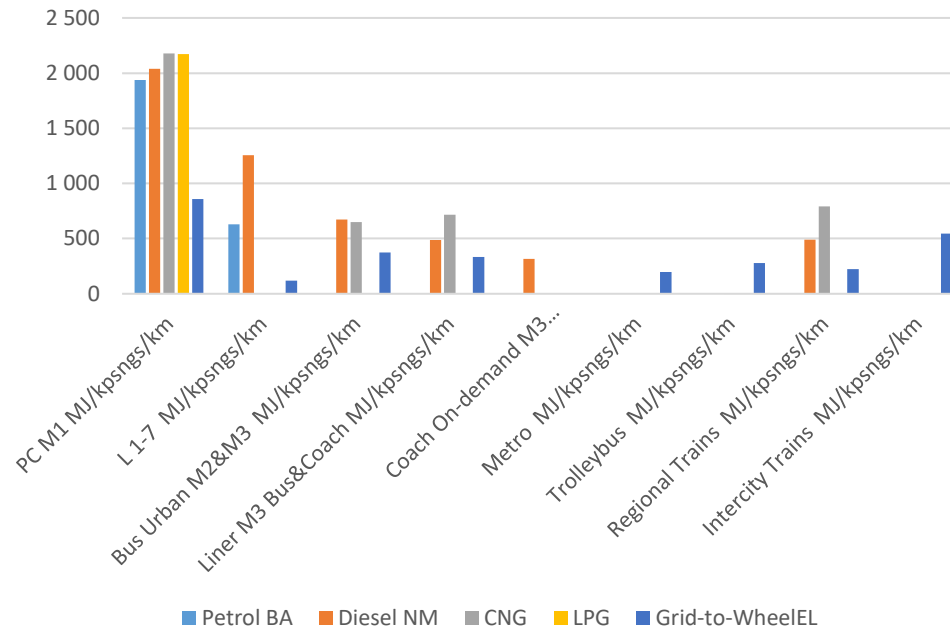
3. „Účinnost“ využití energie ve vozidle (TTW nebo GTW) a energetická náročnost přepravy

- Účinnost od plnění nádrže na kola v provozu.
- V energetické náročnosti přepravy hraje roli dále hmotnost vozidla s baterií, která navyšuje jízdní odpory.

Mean Efficiency Grid-to-Wheel



Energy Consumption per Transport Output; Years 2017- 2020 Passenger Transport



Normalized mean clutch power for single unit 1 [1]

- **H2 pro dvojpalivové motory a PEM FC ze zpracování rafinérských zbytků a jako vedlejší produkt elektrolýzy**



4. Výroba nosiče energie a parametry WTT/WTW

- Spotřeba WTW od již existující elektrické energie až po získání trakční práce na kolech je nejlepší u přímého využití a akumulace elektřiny, horší u vodíku a zejména velická u syntetických uhlovodíků – poměry využití elektrické energie na vstupu do sítě cca 70%:30-26%:15-11%.
- Intermittance občasných zdrojů energie - efektivní skladování elektrické energie ve větších množstvích jen v chemické energii syntetických paliv (H₂, e-fuels).
- BEV – nutnost budování časově málo využitě infrastruktury, dimenzované na výkon, nikoli na průměrný odběr.
- Vodík a syntetická paliva z OZE na místě nebo z jaderné energie kdekoli. Syntetická paliva - žádná nová infrastruktura.
- Kapalná syntetická paliva vhodná do všech existujících vozidel. Výroba v místech příznivých pro OZE na jihu od Evropy.
- Cena závisí na odbytu.

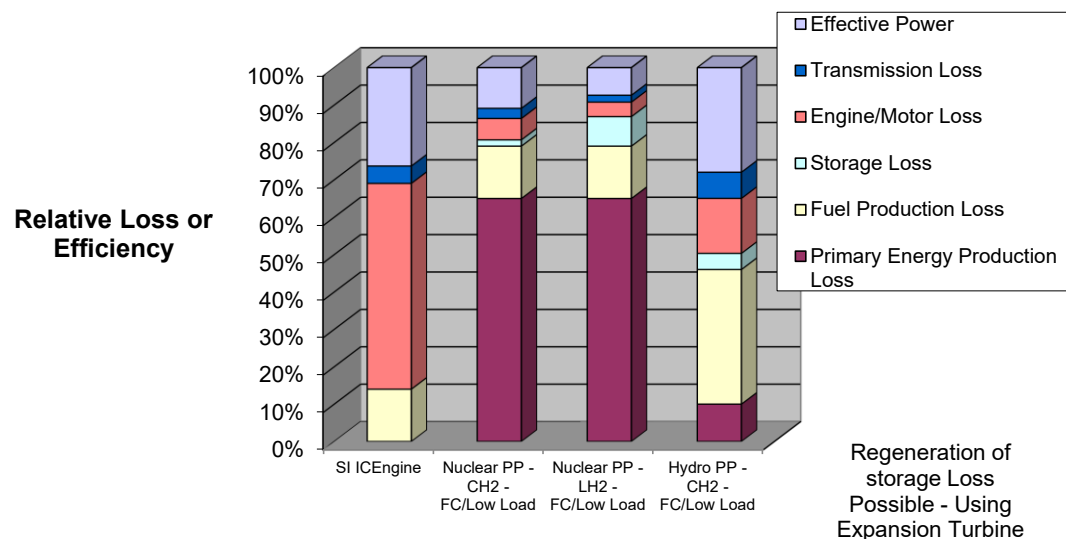


ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

4. Energetické a emisní hodnocení – výroba nosiče energie – WTW a GTW (na vstupu do „výdeje“ paliva)

Energie na výrobu a „uskladnění“ energie

WTW Primary Energy Use

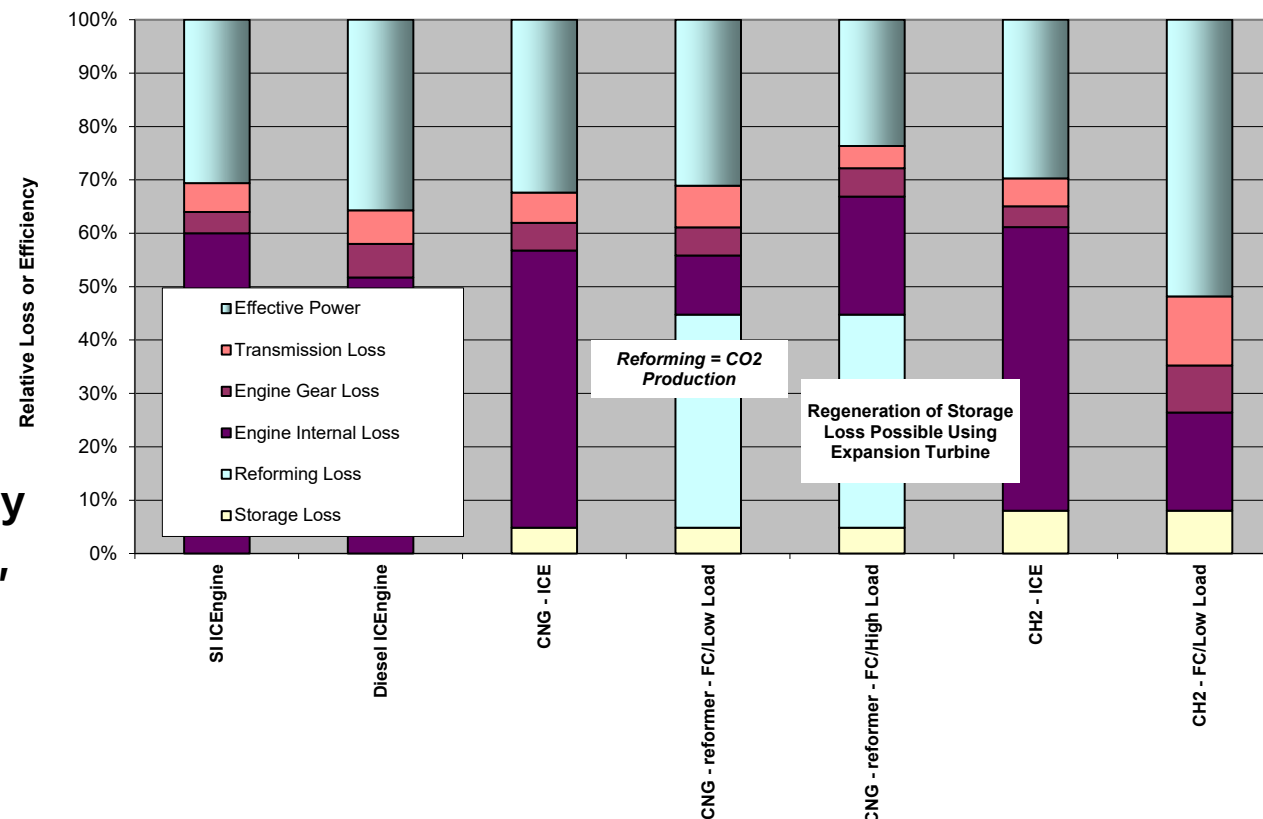


Emise skleníkových plynů (GHG) jsou ovlivněny druhem paliva a emisemi GHG při jeho výrobě, ale také účinností motoru, kterou ovlivňují nepříznivě opatření proti emisím zdravotních škodlivin

10.04.2024

© Jan Macek 2024

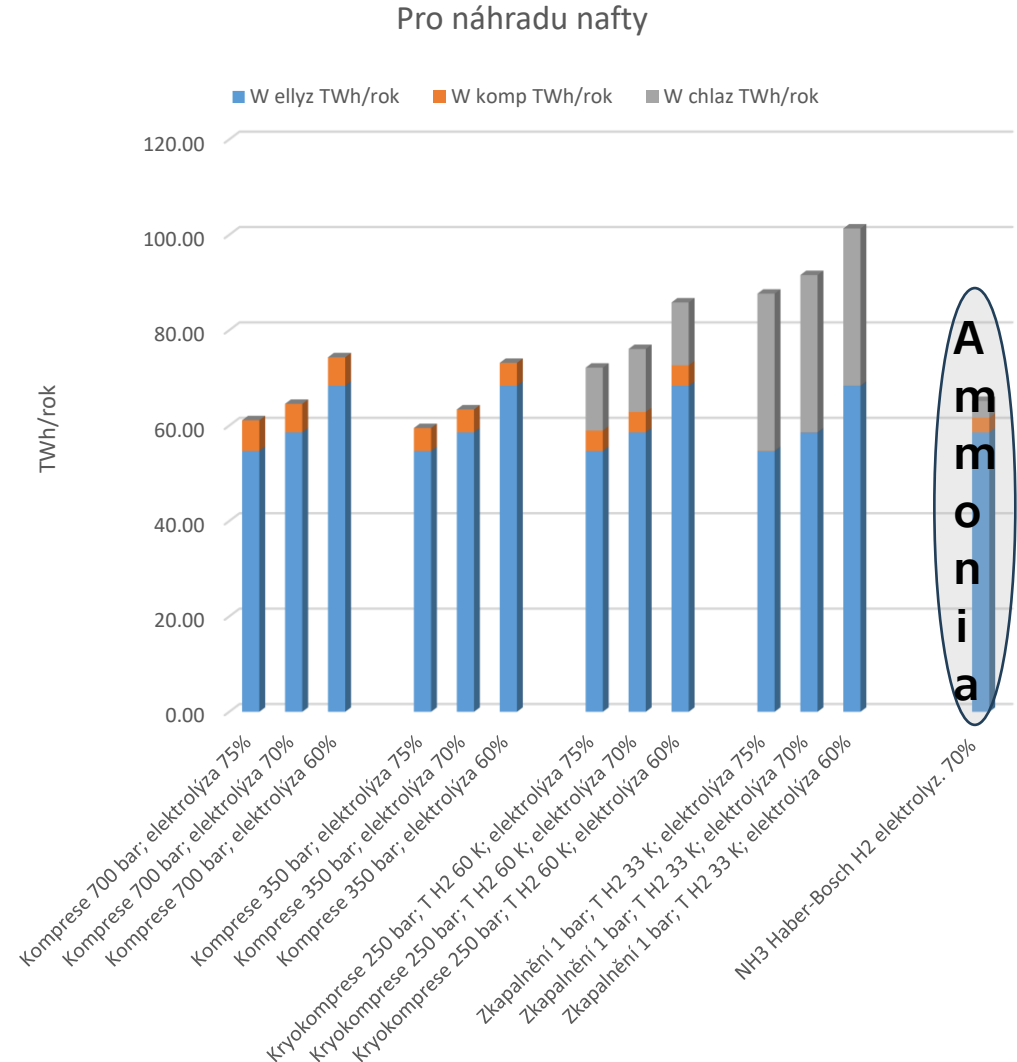
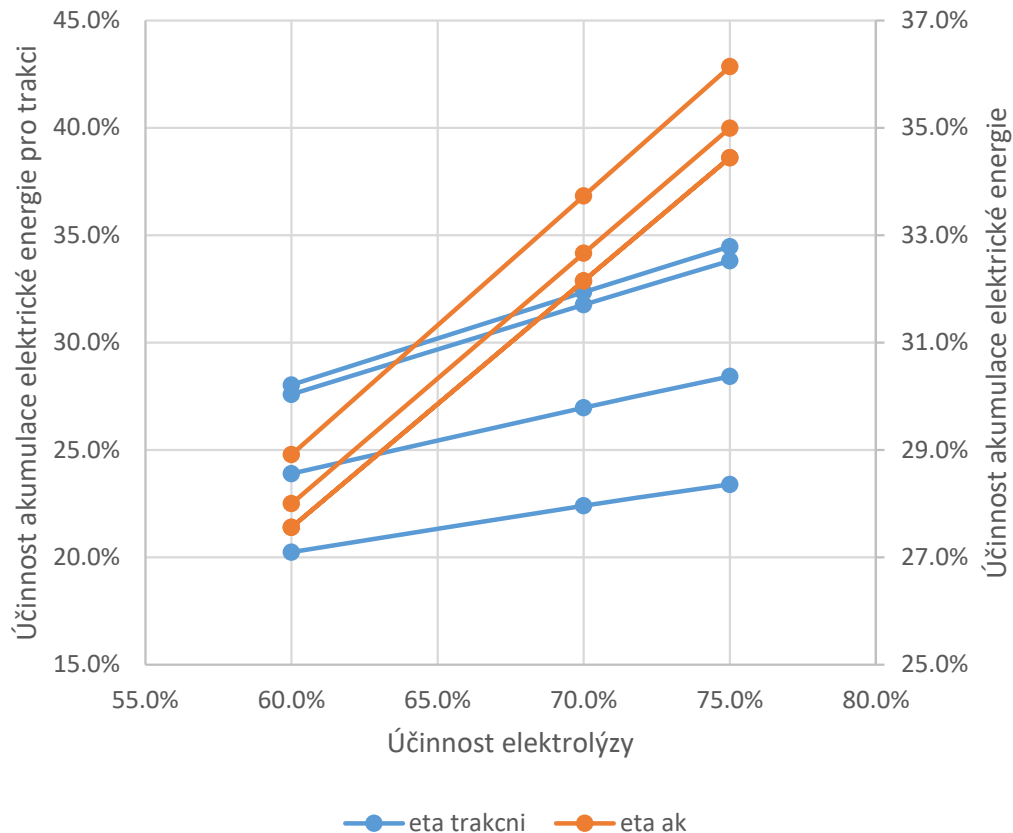
Fuel Energy Use GTW



4. Vodík jako nosič energie

Účinnost je horší, ale akumulace ve velkých množstvích možná

Účinnost využití primární elektrické energie při účinnosti FC 50%. Pro trakci komprese na 35-70 MPa a kryokomprese na 25 MPa. Pro akumulaci komprese na 1-10 MPa

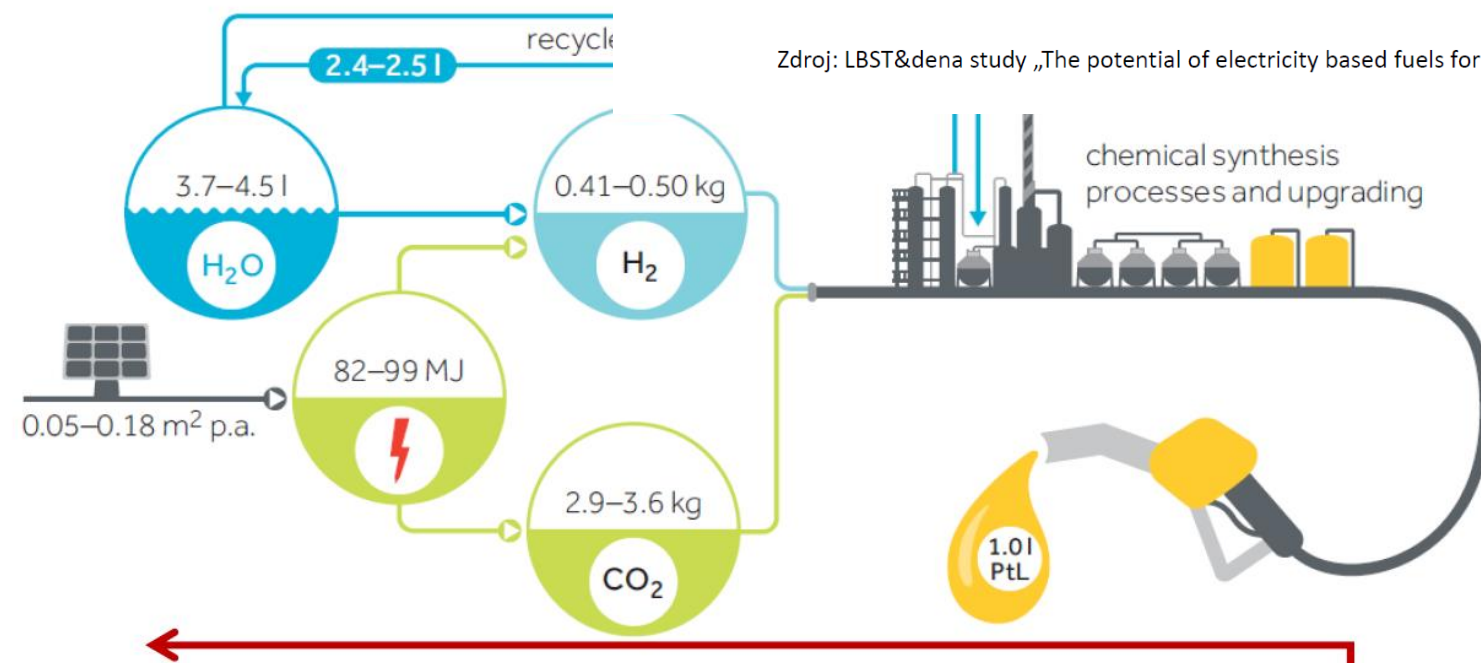


4. Hmotnostní, energetická a cenová bilance E-fuel

Shell a M. Pospíšil, VŠCHT

- Při použití recyklovaného CO2 vychází značně lépe
- Saudi Aramco – ovšem nutno odsolovat mořskou vodu
- Účinnost výroby vůči vstupní elektrické energii cca 30%, z toho na kola jen 35%.
- Ve srovnání s HVO se však potřebuje 1.54 MJ H2/MJ paliva, zatímco u Hydrogenated Vegetable Oil HVO 0,12 a u Biomass-to-Liquid (FT) 0,41 MJ H2/MJ paliva

Source: Shell (2018a)



20 % produkce el.en. v JET

450 kt O₂

2 % roční spotřeby PH v ČR

Porovnání provozních nákladů (€/km)

Saudi Aramco však předpovídá 2€/dm³ v r. 2040? Potřebujeme čas na rozhodnutí!

Rok	NM/BA	E-fuel	FC-H2	BEV-slow ch.	BEV-fast-ch.
2015	2,1	16 - 18	16	3,1	3,5
2050	2,1	7 - 8	4,1	2,6	4,4

Zdroj: LBST&dena study „The potential of electricity based fuels for low emission transport in EU



ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

5. Outlook: Synthetic Fuels and Electric Energy Production

Vehicle Energy Consumption TTW and WTW without GHG?

- **As stated by TU Dresden, COSTS ARE DECISIVE not efficiency.**
- **As stated by ERTRAC, possibility to re-fuel the existing fleet is important.**
- **Significantly underestimated grid service losses for BEV, in which accumulation of product is partially usable only;**
- **moreover, additional GHG emissions (grid services, unlike in the main case of regenerative sources)**

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 scenarii the production of the vehicle and in particular the **CO₂ intensive production of the battery is not included, nor is the infrastuctur to produce the necessary amount of green energy !**

Glossary:

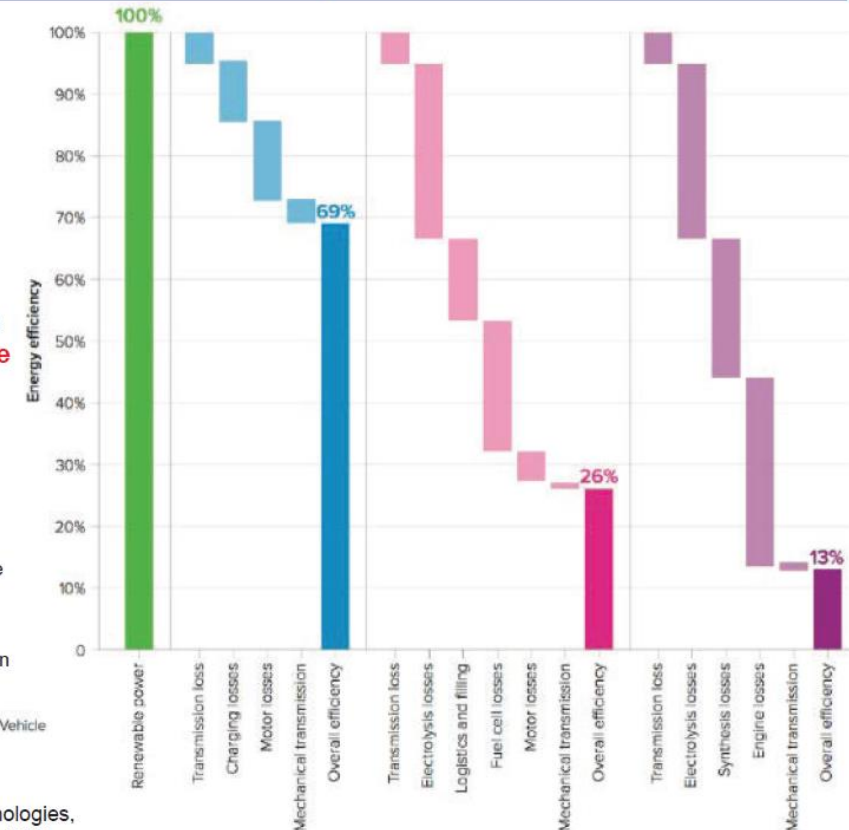
Transmission loss → losses in the electric Grid

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

Logistics and filling → storage, transport of H₂, both liquid and gaseous, consume energy. The filling process (of tanks), i.e. the transfer of H₂ from one vessel to another requires energy and incurs loss of H₂ (leakage, boiling losses,)

Synthesis losses: are a matter of debate and depend very much on the synthesised fuel. E.g. H₂+CO₂ → Methanol is an exothermic reaction, CO₂ can be captured „out of the air“ (400ppm vol → very energy consuming!) or „from industrial combustion“ (85% vnl)

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



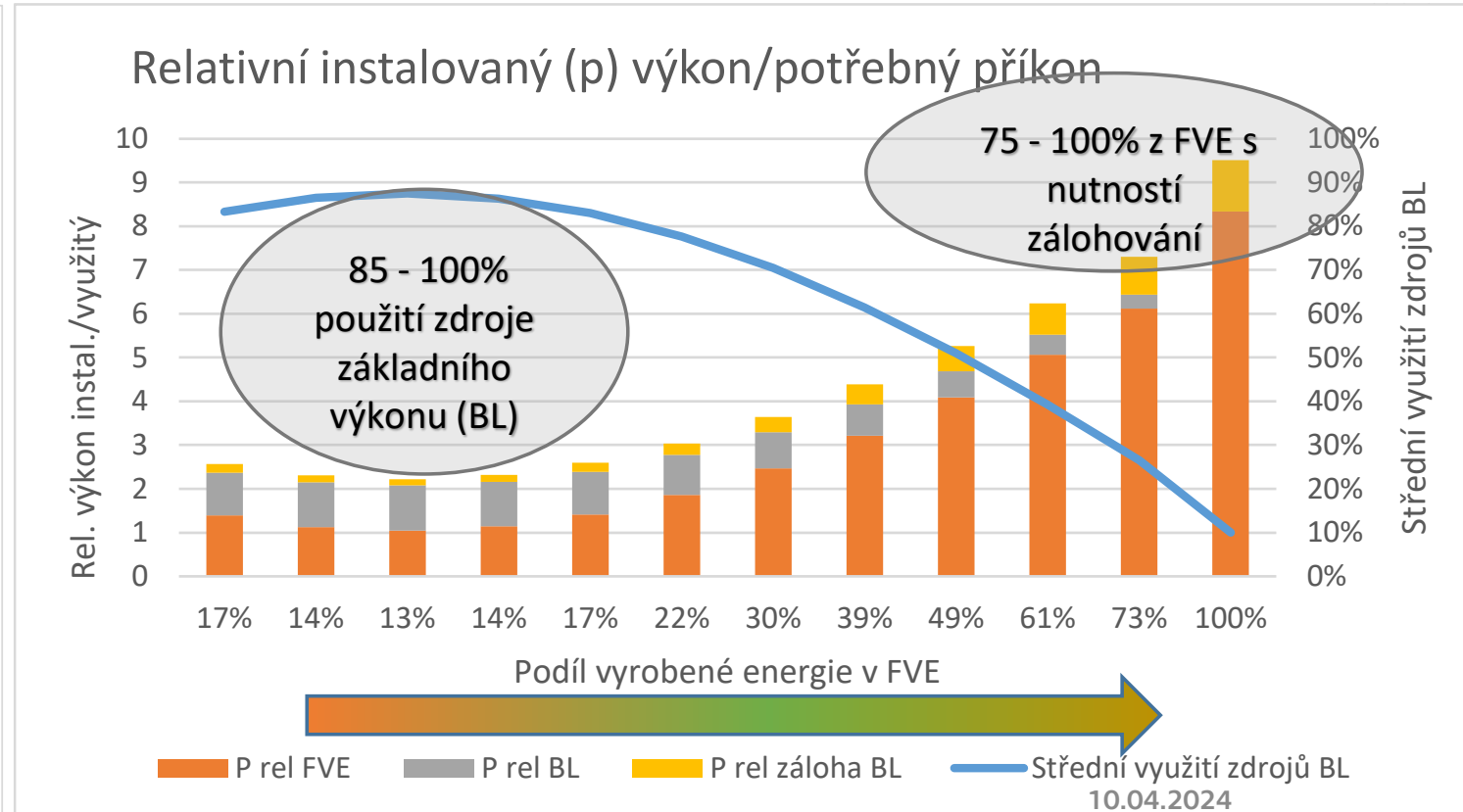
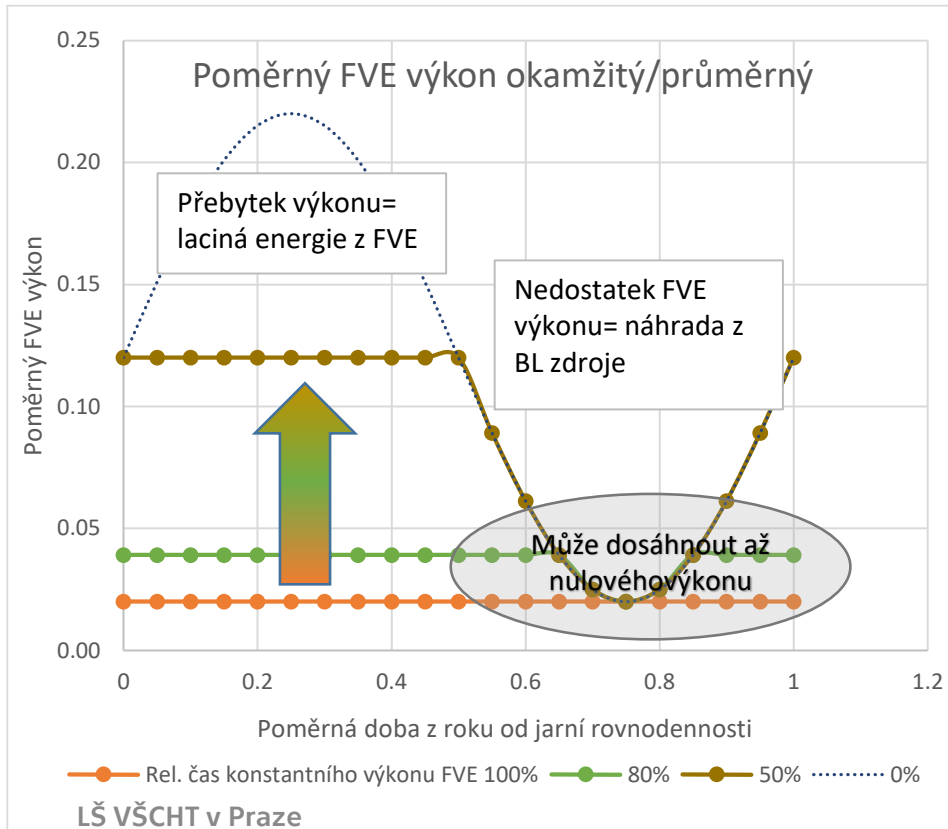
Quelle: Matthew Davidson, Centre for Sustainable and Circular Technologies, University of Bath, at the IMechE IC Engines, Birmingham, December 2019.

Lehrstuhl
VERBRENNUNGSMOTOREN
und Antriebssysteme

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

4. Výroba nosiče energie a parametry WTT

- Proč nemáme „stále levnější energii z fotovoltaiky a větru“? **Máme ji, ale 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 produkovaný, u BL cca jen 1,2 x.



5. Objektivní hodnocení pomocí analýzy životního cyklu

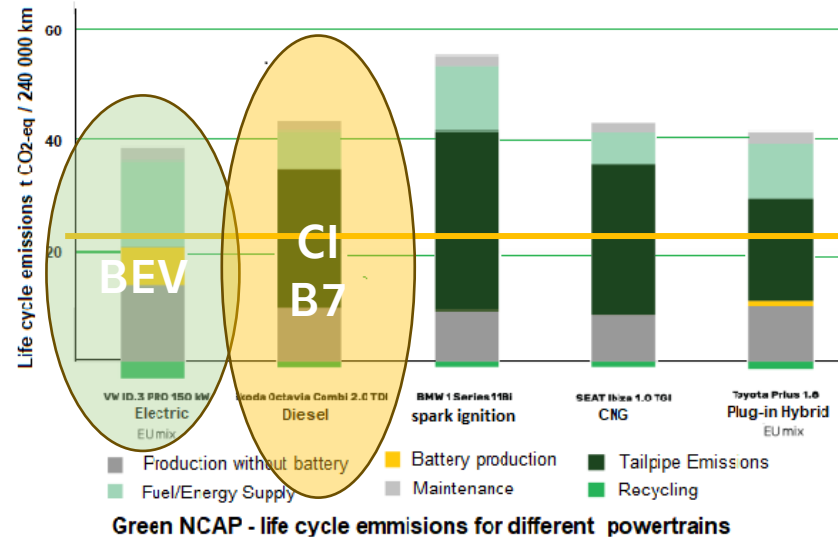
- Externality v energetické spotřebě – fixní (investiční a výrobní) a variabilní (provozní) složka.
- LCA pro samotný dopravní prostředek i pro potřebnou infrastrukturu z hlediska energií pro výrobu i dostupnosti materiálů.
- Lze brát v úvahu na energetické úrovni (např. výroba baterií nebo OZE), ale nakonec vždy jde o investice a provozní náklady na straně ekonomie a celkové emise škodlivin na straně environmentální.
- U kolejových vozidel není na závadu hmotnost baterií, ale jejich cena a emise skleníkových plynů při jejich výrobě.
- **U osobních automobilů způsobují současná nařízení EU odklon od malých vozidel, kde je sice faktický přínos k emisím největší, ale podle nařízení EU není započítáván.**



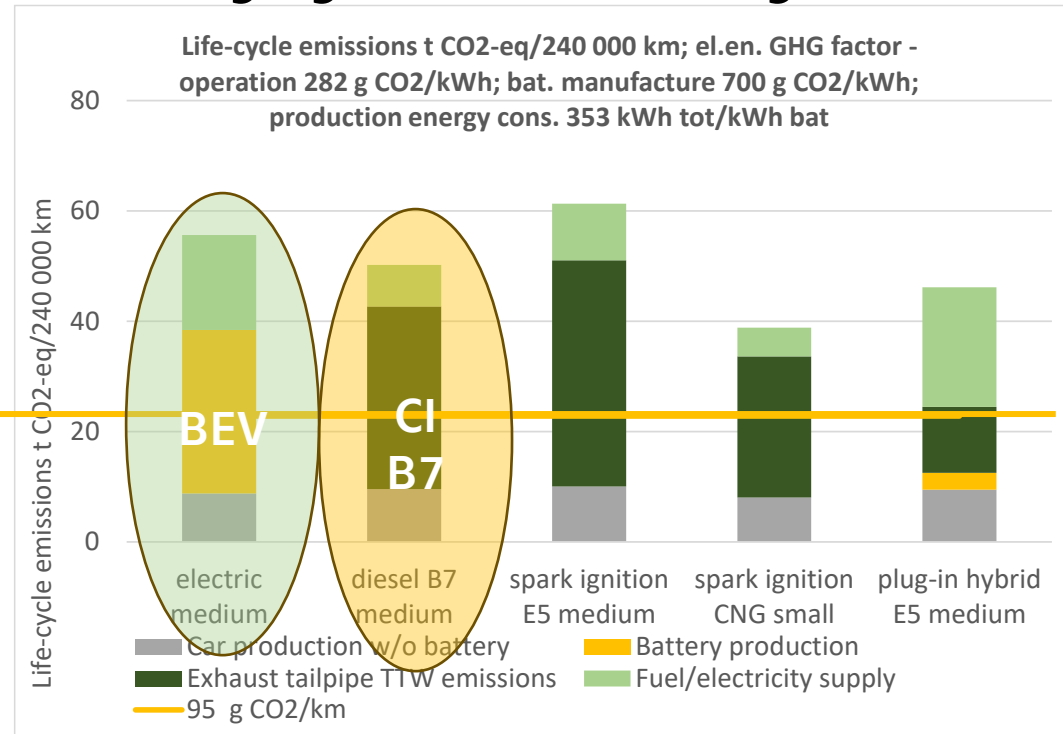
ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

5. Objektivní hodnocení pomocí analýzy životního cyklu LCA

CO_{2eq} emise pro životní cyklus vozidel
vybraných tříd dle obr. vpravo



Green NCAP - emise v t CO_{2eq} pro životní cyklus s předpokladem výroby a provozu při 282 gCO_{2eq}/kWh (výhled v EU za cca 5 let). Nájezd 240 000 km pro životnost baterie.



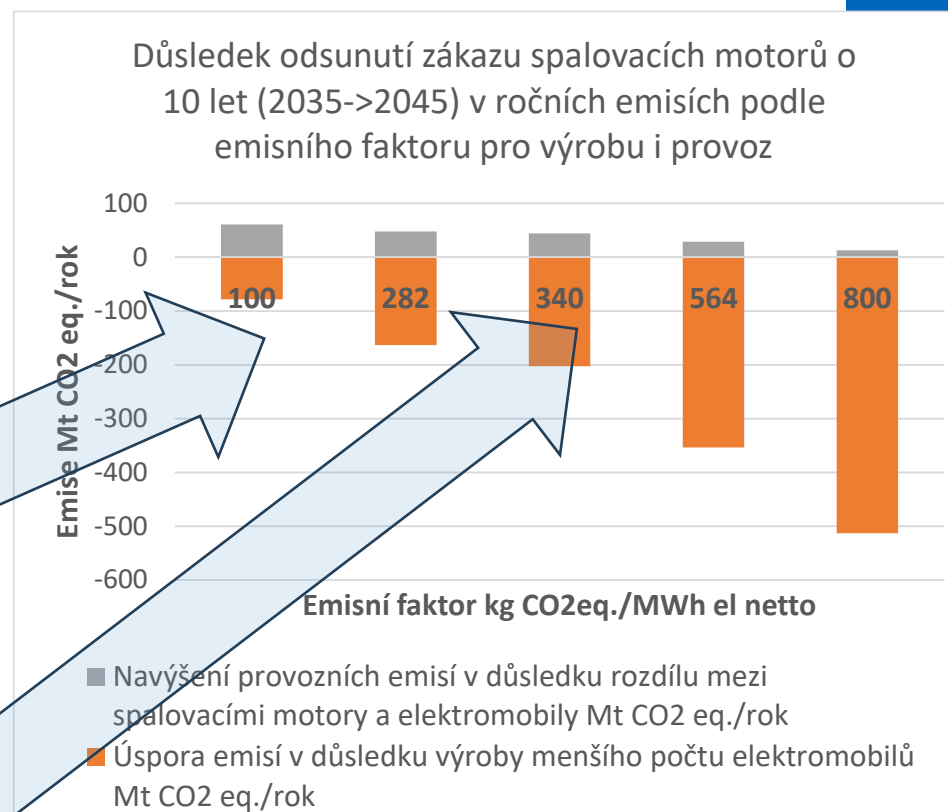
ČVUT simulace – CO_{2eq} emise pro **baterie z Číny**, provoz dle průměru EU jako vlevo. Sloupce odpovídají pořadí vozidel na levém grafu, nájezd je stejný. Pro vozidla na fosilní paliva (B7, E5) jsou výsledky srovnatelné.

Odleva VW ID3, Škoda Octavia Combi TDi, BMW 1, Seat Ibiza CNG, Toyota Prius. Šedá – výroba vozidla bez baterie, žlutá – výroba baterie, tmavě zelená – emise z paliva za provozu, světle zelená – emise při výrobě paliva/elektřiny. Žlutá čára – evropský požadavek na maximální emise z prodaných vozidel 95 gCO_{2eq}/km.

6. Časové rozložení přechodu na nové způsoby mobility

- **Cena jízdy BEV 2.3 Kč/km při 10 Kč/kWh, při rychlonabíjení více. Naftový automobil 2.2 Kč/km se spotřební daní 8.50-10 Kč/l za 40 Kč/l. Ovšem navíc odpovídající naftový automobil z odpisů ceny auta za 250 000 km + 2 Kč/km, elektrický + 4 Kč/km.**
- **Teprve při 50% podílu jádra a větším OZE dosáhneme příznivějšího emisního faktoru, to se týká i celé Evropy (předp. 0,28 kg CO₂/kWh, ze sítě ale 0,35 CO₂/kWh). A navíc výroba, cca 350 kWh/kWh baterie (GreenNCAP), takže dorovnání emisí až po určitém nájezdu.**

Předpokládáme-li, že po roce 2035 bude emisní faktor z výroby elektrické energie v EU cca **0,1 kg CO₂eq/kWh(el)** – dnes je kolem 0,3 kg CO₂eq/kWh(el), pak při výrobě všech vozidel v zemích EU by se **přesunutím termínu zákazu z roku 2035 na rok 2045 v kritických přechodových rocích 2045 až 2063 snížily emise v EU a ve světě o 17,2 milionů t CO₂eq/rok, při výrobě v Číně o 224,6 milionu t CO₂eq/rok.**



7. Pět hlavních hříchů vzdělaných laiků (profesionálních diletantů) v politické interpretaci problematiky

- Extrémní stanoviska kvůli zjednodušení složitého problému
- Zapojení emocí nebo pokrytectví, někdy dokonce motivovaného vlastní finanční zainteresovaností na získání lákavých dotací

První hřích – neznalost nebo popírání přírodních a ekonomických zákonů.

- Konflikt zájmů u experta kvůli znalosti dané věci?
- Zavádějící hodnocení počtu prodaných vozidel nebo instalovaného výkon nových energetických zdrojů místo faktických výsledků ve spotřebě různých druhů energií nebo v emisích z mobility.
- Nepochopení rozdílu práce v MJ nebo kWh a výkonu v kW z hlediska cen zařízení (motor vozidla nebo síť dimenzovaná na kW, baterie na kWh)
- Příklad – iluze o snížení emisí omezením rychlosti ve městech na 30 km/h.
- Příklad – záměr na reformy výuky na 2. stupni českých škol s vypuštěním Newtonových pohybových zákonů a Ohmova zákona.

7. Pět hlavních hříchů vzdělaných laiků (profesionálních diletantů) v politické interpretaci problematiky

Druhý hřích – ignorování dopadu detailů do vlastností celku. Zanedbání nutnosti holistického posuzování.

■ Příklady

- Rozpracovávání koncepce nového auta ukáže problémy až v detailech. Ale **z detailů se skládá automobil**, automobily se silniční a další infrastrukturou dávají **dopravní systém**, který váže na **distribuci energie**, ta na **výrobu energie**, dále na průmysl auta vyrábějící, zásobování materiály a tak můžeme pokračovat až k vedlejším účinkům budování investičně náročné energetické infrastruktury.
- **Rozlišení mezi lokálním a globálním**, zejména co se skleníkových plynů týče, se nerespektuje. Přesunout “špinavé” technologie mimo EU a tvářit se, že jsme čistí, je pokrytectví a jen snižuje naši konkurenceschopnost.
- Z hlediska nařízení EU: Falešně malá výhodnost elektromobilu střední třídy při dosažení za 5 let očekávaného emisního faktoru v Evropě a úplná nevýhodnost při použití materiálů pro baterie, vyráběné v Číně – **neprovádí se LCA**.



ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

7. Pět hlavních hříchů vzdělaných laiků (profesionálních diletantů) v politické interpretaci problematiky

Třetí hřích nerespektuje časový průběh změny mobility, která zabere několik desetiletí a zasáhne tím několik generací. Předstírá, že politické nařízení vše změní a nerespektuje ani možný vývoj nových technologií během přechodu, ani zpětnou vazbu, která může včas varovat před katastrofou.

- Investice vyžadují dlouhodobou a v paralelních variantách běžící strategii. Taktika k vítězství pro nejbližší volební období nebo pro rychlý finanční zisk s dobou návratnosti kolem 5 let vede k destabilizaci rozvoje ekonomiky.
- EU schválila neuváženě za nepochopitelné české asistence zákaz registrací nových vozidel se spalovacími motory v roce 2035, a to i s použitím zatím nesplněných příslibů o možnosti využití alternativních paliv. Doba výměny 50% vozidlového parku u při obdélníkovém symetrickém rozložení četnosti vozidel a při průměrném stáří 15 let by trvala při jeho nerozšířené reprodukci právě 15 let, což je ovšem nerealistické. Pokud se proces ovlivní horší užitnou hodnotou nových vozidel, jako tomu je v případě těch bateriových (cena, dojezd, pohodlí, bezpečnost atd.), doba obměny celého parku, měřená dosažením stejných přepravních výkonů, trvá pak násobně déle.

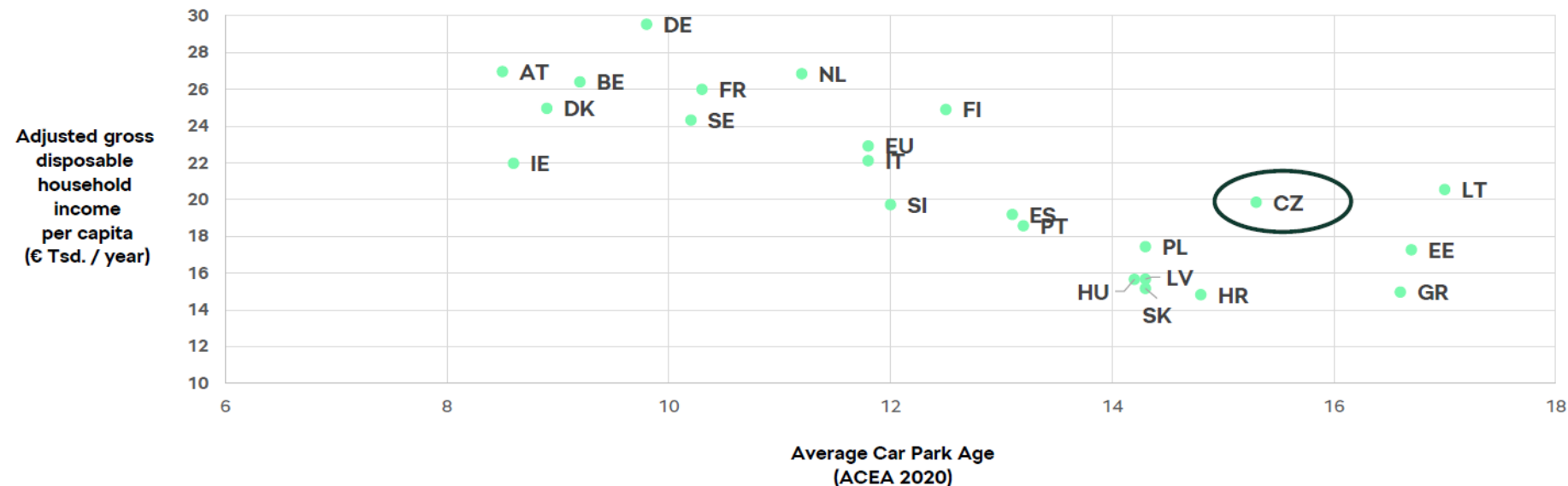


ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

Stáří vozidlového parku a HPP/1 obyvatel (Dr. Hrdlička, Škoda Auto)

Poorer countries have significantly **older car parks**

Despite being an automotive powerhouse Czech Republic has one of the oldest car parks in the European Union



Source: ACEA, Eurostat

7. Pět hlavních hříchů vzdělaných laiků (profesionálních diletantů) v politické interpretaci problematiky

Čtvrtý hřích je očekávání, že vše nové je lepší než staré.

- Není – jenom se popírá stará poučka o tom, že lepší je ďábel známých vlastností než ďábel neznámý. Při zkušenosti ČR se 40 lety totality na základě slibů lepší budoucnosti asi není nutné dokládat omyly této teze. Technologická neutralita v politických rozhodnutích je tu velice žádoucí.
- Očekávání se musí korigovat podle **zpětné vazby z dosažených výsledků**.
- V Evropě se zpracovávají dopadové studie navrhovaných opatření jen výjimečně a bez korekce iniciativních návrhů, vznikajících na základě momentálního blouznění profesionálních diletantů, zvláště v EP (“ne 30%, ale 45%”). Zpětná vazba pak chybí úplně.
- Hlasování ve vědě je nesmysl, pokud se inspiruje touto zkušeností (např. v IPCC) a pokud jsou na ideologii vázány finanční prostředky (typické pro IPCC).



ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

7. Pět hlavních hříchů vzdělaných laiků (profesionálních diletantů) v politické interpretaci problematiky

Poslední, pátý hřích je v šíření polopravd a tedy v polo-lhaní.

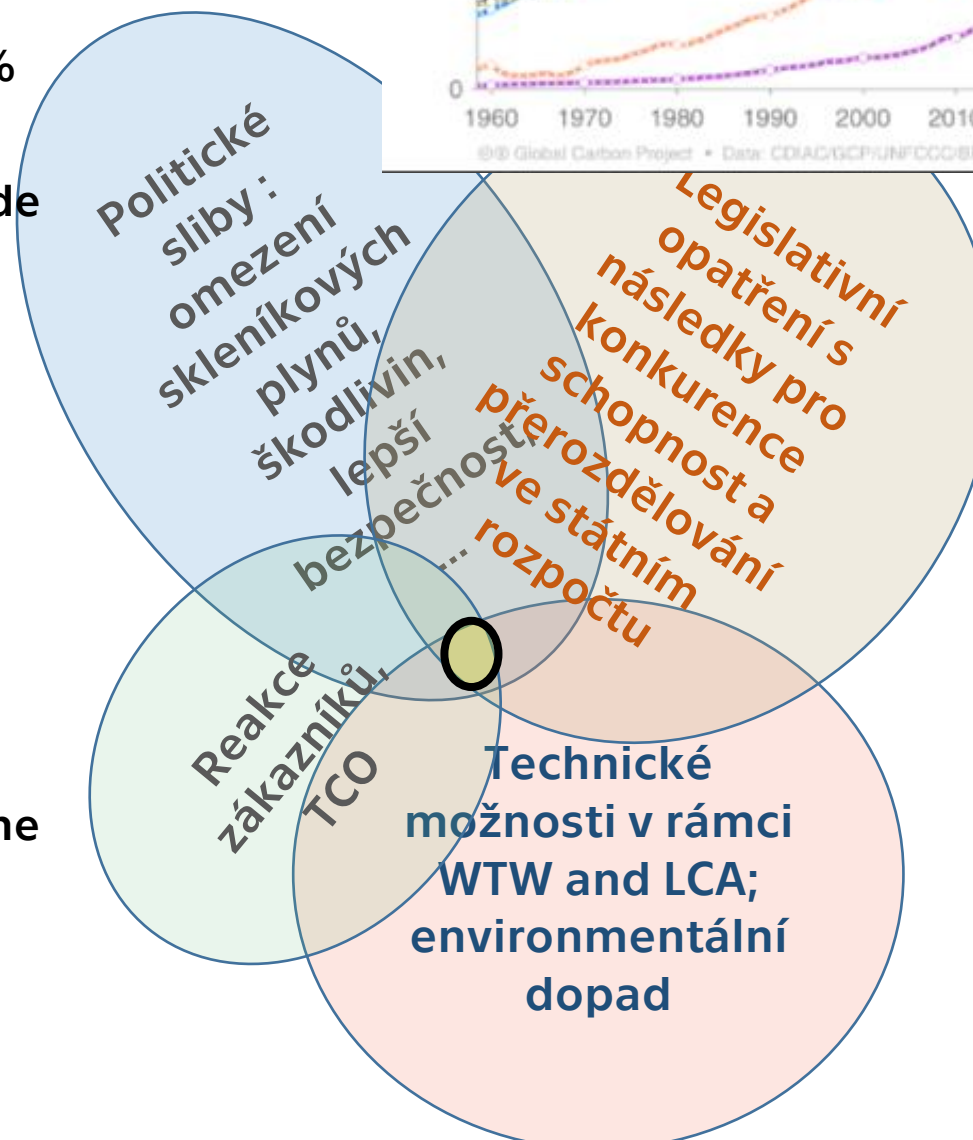
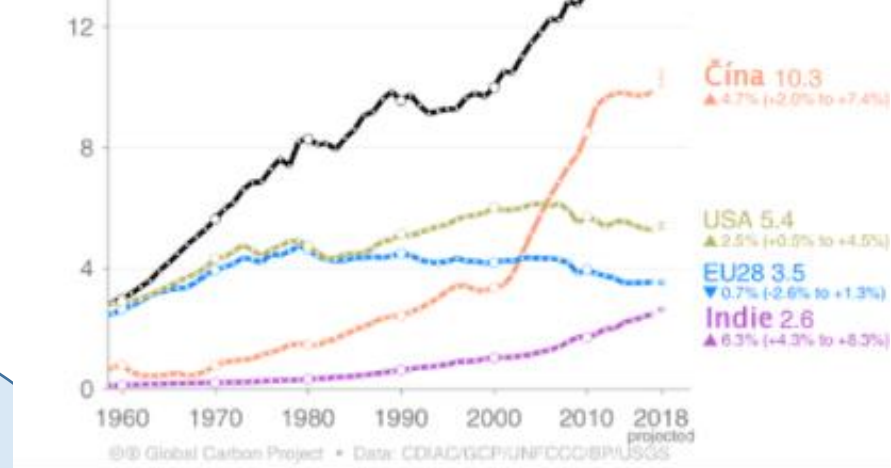
- To je typické pro ideologizaci, snažící se „legálními“ **dezinformacemi** zvítězit – třeba ve volbách. Ideologie nehledá potřebné kompromisy a riskantně prosazuje “jedinou správnou cestu”.
- Př.: Iluze o zajištění potřebné energie v ročním průměru z obnovitelných, tedy občasných zdrojů. To je jistě polopravda, podporovaná nejrůznějšími lobbisty, chtějícími získat z veřejných rozpočtů, zásobovaných z prostředků všech daňových poplatníků, co nejvíce dotací pro svůj prospěch bez ohledu na jejich malý přínos.
- Rubem této polopravdy je fakt, že třeba fotovoltaika v létě dává nadbytek nespotřebovatelné energie, projevující se už nyní zápornými okamžitými (spotovými) cenami, ale v zimě nedává prakticky nic.
- Návrh na vyrovnaní očekávaného propadu vlastní výroby elektrické energie po předčasném odstavení uhelných zdrojů dovozem. Odkud, jakou přenosovou sítí a za kolik, pokud dojde k anticyklonální situaci ve střední Evropě během zimy?



ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

7. Závěry

- Chceme být „čistí“ pro sebe i pro celou Zemi
- Evropa má podíl na skleníkových emisích 8% a klesá
- Přesouváme „špinavé“ technologie jinam, kde je dokonce podstatně větší emisní faktor
- Chceme být sociálně spravedliví
- Zabraňujeme v přístupu k mobilitě chudším
- Na čisté technologie, které jsou drahé, musíme přerozdělovat veřejné prostředky
- Cena energie nemá jen přímý dopad na energii potřebující obyvatele, ale na ceny všech výrobků prostřednictvím výrobců
- Chceme být světovým leadrem, ale snižujeme svou konkurenceschopnost
- Působíme tím potenciálně nárůst nezaměstnanosti.



7. Závěry

- **Závěr: Technologicky neutrální zákonná opatření jsou základem.**
- **Volná soutěž koncepcí s dotacemi do VaV musí být základem. Pokud dotace do investic, pak vyváženě, ne ideologicky jednostranně.**
- **Do provozu vůbec žádné podpory!**
- **Pokud se budeme řídit ideologickými polopravdami, bude následovat ztráta konkurenceschopnosti průmyslu a nedostupnost mobility pro nízkopříjmové třídy, navíc z části nezaměstnané! ESG a možná bankovní krize jsou dostatečným varováním.**
- **Problém: Proti populistům a demagogům je racionální argumentace v nevýhodě – polopravda v jednom čísle přesvědčí neznalého vždy více.**
- **Objektivní analýza v časových závislostech vyžaduje myslet, a to je nepopulární.**
- **Časové konstanty reálných ekonomických procesů jsou delší než volební období i požadovaná doba návratnosti investic. Co s tím?**

Thank you for your attention! Questions?

jan.macek@fs.cvut.cz

Acknowledgement for support inside IMPERIUM and ADVICE projects of H2020 together with programs of The Technological Agency of the CR, NCK 2 and THETA, projects Josef Božek National Center of Competence, TN0200 0054, and Model Support of Clean and Sustainable Mobility in CR, TK 0401 0099.

The collaboration with colleagues prof. ing. Milan Pospíšil, CSc. - VŠCHT, Mgr. Vojtěch Máca, PhD. – ČŽP UK a ing. Jan Mikulec, CSc. - ČAPPO is highly appreciated, as well.

Moreover, colleagues from the think tank Realistická energetika a ekologie, especially Prof. Ing. Milan Apetaur, DrSc., Ing. Jaroslav Čížek, Ing. Jan Vondráš and Dr. Milan Smutný, <https://realisticka.cz>, helped us significantly.



ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

Děkuji za pozornost.

Dotazy?

Jan.Macek@fs.cvut.cz

<http://www.cvum.eu>

<http://realisticka.cz>



References 1/3

- [1] Saboohi, Y.; Farzaneh, H., "Model for developing an eco-driving strategy of a passenger vehicle based on the least fuel consumption," *Applied Energy*, 86(10): 1925-1932, 2009.
- [3] Barth, M., Boriboonsomsin, K., "Energy and emissions impacts of a freeway-based dynamic eco-driving system," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, , 14(6): 400-410, 2009.
- [4] Badin F., Le Berr F., et al., "Energy efficiency evaluation of a Plug-in Hybrid Vehicle under European procedure, Worldwide harmonized procedure and actual use," *EVS28 KINTEx*, Korea, 2015
- [5] Guzzella L., Sciarretta A., *Vehicle Propulsion Systems*. Springer- Verlag Berlin Heidelberg, 2013.
- [6] Zhao J., Sciarretta A., "Design and Control Co-Optimization for Hybrid Powertrains: Development of Dedicated Optimal Energy Management Strategy," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 49, no. 11, pp. 277–284, 2016.
- [7] Sciarretta A., De Nunzio G., and Ojeda L. L., "Optimal Ecodriving Control: Energy-Efficient Driving of Road Vehicles as an Optimal Control Problem," *IEEE Control Systems Magazine*, vol. 35, no. 5, pp. 71–90, 2015.
- [8] De Nunzio, G., Thibault L., Sciarretta, A. "Bi-Objective Eco-Routing in Large Urban Road Networks," in *IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems*, 2017, pp. 57–63.
- [9] De Nunzio G., Sciarretta A., Ben Gharbia I., Ojeda L. L., "A Constrained Eco-Routing Strategy for Hybrid Electric Vehicles Based on Semi-Analytical Energy Management," in *IEEE 21th International Conference on Intelligent Transportation Systems*, 2018.
- [10] Ye Z., Plum T., Pischinger S., Andert J., Stapelbroek M., Pfluger J. (2017) Vehicle speed trajectory optimization under limits in time and spatial domains. In: Isermann R. (eds) *Fahrerassistenzsysteme 2017*. Proceedings. Springer Vieweg, Wiesbaden https://doi.org/10.1007/978-3-658-19059-0_18
- [11] Cannon M., "Model Predictive Control" (<http://www.eng.ox.ac.uk/~conmrc/mpc/mpc1-2.pdf>. 2015)
- [12] Seborg E. D., "Process Dynamics and Control," John Wiley and Sons, 2010.
- [13] Biegler L. T. "An overview of simultaneous strategies for dynamic optimization", *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 46(11): 1043-1053, 2007
- [14] Steinbauer P., Macek J., Morkus J., Denk P. et al., "Dynamic Optimization of the E-Vehicle Route Profile," *SAE Technical Paper 2016-01-0156*, 2016, doi:10.4271/2016-01-0156.
- [15] Doleček V., Macek J., Barak A., Vitek O., et al., "Comprehensive Approach for Optimal Diesel Engine Downsizing Combining Thermodynamics and Design Assistance System," *SIA Paper*, SIA Powertrain Conference Rouen 2014, 10 pp.
- [16] Vitek, O., Macek, J., "Thermodynamic Potential of Electrical Turbocharging for the Case of Small Passenger Car ICE under Steady Operation," *SAE Technical Paper 2017-01-0526*, 2017, doi:10.4271/2017-01-0526.
- [17] Minett, C. F., et al., "Eco-routing: comparing the fuel consumption of different routes between an origin and destination using field test speed profiles and synthetic speed profiles," In: *Integrated and Sustainable Transportation Systems (FISTS)*, 2011 IEEE Forum on. IEEE, 2011. p. 32-39.
- [18] Vitek O., Macek J., Doleček V., Bogomolov S., et al., "Realistic Limits of ICE Efficiency," *FISITA Maastricht F2014-CET-051* , 10 pp.
- [19] Macek J., Vitek O., Doleček V., Srinivasan S., Tanner F.X., "Optimization of Engine Control Strategies during Transient Processes Combining 1-D and 3-D Approaches," *SAE Paper 2010-01-0783*
- [20] Macek J., Steinbauer P., Morkus J., Barák A., "Procedures for determination of the current vehicle parameters," *Report to IMPROVE deliverable 3.4*, CTU Prague 2014
- [21] Macek J., Steinbauer P., et al., "D3.5 Energy management algorithm for vehicle operation," *Report to IMPROVE EU FP7 Project, deliverable 3.5*, CTU Prague 2015



References 2/3

- [22] Nelles, O., "Nonlinear system identification with local linear fuzzy-neuro models," Automatisierungs technik. Shaker Verlag, Aachen 1999.
- [23] Stefan, M., Valasek, M., Sika, Z., Bauma, V., "Neuro-fuzzy Identification of Nonlinear Dynamic MIMO Systems," Engineering MECHANICS, 13(3) 223–238, 2006.
- [24] Camacho, E.F., Bordons, C., "Model Predictive Control," Springer Verlag, Berlin, 1999.
- [25] Pelikán, J., "Predictive Models of Combustion Engine," MSc. Thesis, FME CTU in Prague, 2004.
- [26] Valášek, M., et al., "Model Based Predictive Control of Combustion Engine with Constraints," Review of Automotive Engineering of Japan SAE, 26(3), pp. 349-356, 2005.
- [27] ISO 7730:2006 - "Ergonomics of the thermal environment -- Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria," International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- [28] Nilsson, H., "Comfort climate evaluation with thermal manikin methods and computer simulation models," Doctoral thesis, The Royal Institute of Technology, University of Gävle and The Swedish National Institute for Working Life, Arbete och Hälsa 2004:2. ISBN 91-7045-703-4, ISBN 91-7283-693-8, ISSN 0346-78.
- [29] Heywood, J.B., "Internal Combustion Engine Fundamentals", McGraw Hill 1988, ISBN 0-07-028637-X
- [30] Mindl, P., Mňuk, P., Haubert, T., Čeřovský, Z., "HIL System for EV Drives Testing," 19th International Conference on Electrical Drives and Power Electronics (EDPE), 2017, IEEE Catalog Number CFP17EDQ-USB, ISBN 978-1-5386-3379-3, ISSN 1339-3944, Pp. 250 - 254.
- [31] Novak, M. et al., "Efficiency Mapping of a 100 kW PMSM for Traction Applications," IEEE conference ISIE 2017, Edinburg.
- [32] Sadil, J., "Elektrochemical Impedance Spectroscopy of Electric Accumulators (in Czech), " ELEKTRO, 25(10): 120-129, 2017
- [33] Čeřovský, Z., "Current Issues of E-Mobility (in Czech)," ELEKTRO, 25(3): 94 – 99, 2017, ISSN 1210-0889.
- [34] Reducing CO2 emissions from passenger cars. European Commission, online, cited: 2019-06-31, accessed from: https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars_en
- [35] BELLMAN R. Dynamic Programming, Science, 1966, vol. 153, no. 3731, pp. 34-37.
- [36] SUNDSTRÖM, O., GUZZELLA, L., SOLTIC, P. Optimal Hybridization in Two Parallel Hybrid Electric Vehicles using Dynamic Programming, 2008, IFAC Proceedings Volumes, 41, 2: 4642-4647
- [37] BIASINI, R., ONORI, S., RIZZONI, G. A near-optimal rule-based energy management strategy for medium duty hybrid truck, 2013, Int. J. Powertrains, Vol. 2, Nos. 2/3: 232-261
- [38] ZHOU, H., XU, Z., LIU, L., LIU, D., ZHANG, L. A Rule-Based Energy Management Strategy Based on Dynamic Programming for Hydraulic Hybrid Vehicles, 2018, Hindawi - Mathematical Problems in Engineering, Vol. 2018, doi:10.1155/2018/9492026
- [39] SHEN, W., YU, H., HU, Y., XI, J. Optimization of Shift Schedule for Hybrid Electric Vehicle with Automated Manual Transmission, Energies 2016, 9, 220, doi:10.3390/en9030220
- [40] YUAN, Z., TENG, L., FENGCHUN, S., PENG, H. Comparative Study of Dynamic Programming and Pontryagin's Minimum Principle on Energy Management for a Parallel Hybrid Electric Vehicle, Energies 2013, 6, 2305-2318, doi:10.3390/en6042305



ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

References 3/3

- [41] LODAYA, D., ZEMAN, J., OKARMUS, M., MOHON, S., et al. Optimization of Fuel Economy Using Optimal Controls on Regulatory and Real-World Driving Cycles, SAE Int. J. Advances & Curr. Prac. in Mobility 2(3):1705-1716, 2020, doi:10.4271/2020-01-1007.
- [42] Macek, J., Morkus, J., "Optimum Limits of Motor Vehicle Driving", XLVIIIth Conference Of Czech And Slovak Combustion Engine Research, Technical University of Liberec, 2017
- [43] Macek, J., Morkus, J., Denk P., Steinbauer P., Vítek O., Toman R., "Optimization Tool For Hybrid Vehicles", XLIXth Conference Of Czech And Slovak Combustion Engine Research, Agricultural University of Nitra, 2018
- [44] Macek, J., Morkus, J., "Model of Surface Vehicle Fleet Energy Consumption Suitable for Climate-Energy Policy Assessment", L th Conference Of Czech And Slovak Combustion Engine Research, Mendel University in Brno, 2019, pp. 110-123, ISBN 978-80-7509-668-5
- [45] Macek, J., Toman, R., Denk P., Steinbauer P., "Hybrid Powertrain Optimization Tools", LIth Conference Of Czech And Slovak Combustion Engine Research, Czech Technical University in Prague 2020, pp. 110-129, ISBN 978-80-01-06744-4
- [46] 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
- [47] Macek J., "Simple Comparison of Solutions for GHG Reduction in Transport", GT Suite Conference 2021, Gamma Technologies Inc., 2021
- [48] GreenNCAP <https://www.greenncap.com/>



ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

Centrum kompetence
automobilového průmyslu
Josefa Božka



ČVUT

ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

3. Rozvoj infrastruktury

Co potřebujeme:

- ❑ Vozidla – záleží na ochotě zákazníků, snad se nebude nařizovat.
- ❑ Nabíjecí infrastrukturu pro rodinné domy (10-15 kW), bytové domy – parkovací místa s veřejnými nabíječkami pro pomalé nabíjení nebo garáže, veřejné nabíječky pomalé a rychlé (>50 kW)
- ❑ Pro využití kapacity akumulátoru obousměrnou nabíječku s frekvenčním měničem baterie -> síť
- ❑ **Dimenzování nabíjecí infrastruktury není možné založit na průměrném příkonu (kWh za dlouhé období), ale na pečlivém rozboru okamžitých požadovaných výkonů (v kW).**
- ❑ Kabeláž, transformátory a VN přívody. Typicky veřejná stanice s 5 stojany 30 kW a nejméně s dvěma 150 kW, dokonce více – příkon více než 500 kW. Nutná přípojka VN. Využití rychlého nabíjení u ČEZ tč. 1,7 %, pokud proporcionálně (lze?), pak cílově 20-30%.
- ❑ Požadavek EU každých 50 km. **Kdo zaplatí PROVOZ? Investice může být dotována.**



ČVUT

ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

3. Rozvoj infrastruktury

Ďábel v detailech

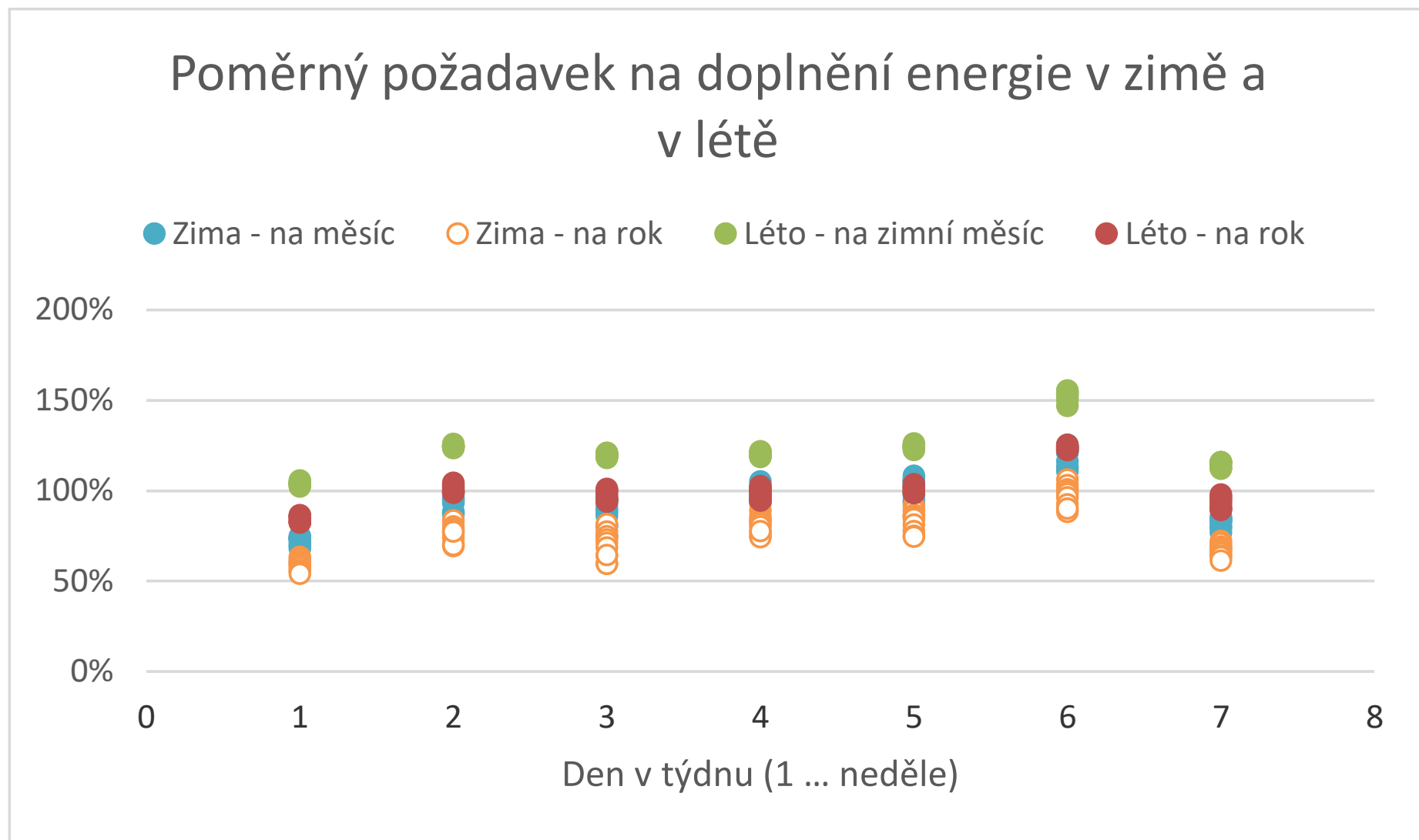
- ❑ Výkon ovlivňuje cenu všech elektrických zařízení s výjimkou baterií, jejichž cena závisí hlavně na celkové kapacitě.
- ❑ Rovněž použité napětí je důležité, neboť umožňuje snížit při daném výkonu proud, na jehož druhé mocnině závisejí ztráty. U vozidel: Proti vysokým napětím stejnosměrného proudu pro nabíjení jde však požadavek bezpečnosti a prostorové nároky izolací.
- ❑ Nabíjení baterií optimálně ze 20% na 80%. Nízké nabití – malý vnitřní odpor, možnost velkých proudů, nad 70% už bez ohledu na výkon nabíječky nutno snižovat rychlost nabíjení. Nejde tedy počítat dobu nabíjení jednoduše z projetých kWh a max. výkonu nabíječky.
- ❑ Pro životnost není dobré udržovat vysoký stav nabití (nabíjet „do zásoby“).
- ❑ Výkonové požadavky: Dlouhodobé průměry z týdenního rozložení odběru benzínu, který je charakteristickým palivem menších a soukromých vozidel. Odběr nafty je během týdne vlivem nákladní dopravy i služebních vozidel daleko rovnoměrnější.



ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

3. Rozvoj infrastruktury

Poměrné hodnoty spotřeby benzínu po dnech v týdnu v letních a zimních měsících, vztažené na měsíční průměry zimních měsíců nebo na roční průměr



3. Rozvoj infrastruktury

Řábel v detailech – využití BEV jako zásobníku pro síť

- ❑ Stabilita sítě krátkodobá (bude chybět kinetická energie turbogenerátorů) a dlouhodobá (OZE – kde nakoupíme, pokud budeme na nich závislí?)
- ❑ Optimistický cíl 2035: 500 000 BEV po 50 kWh a s využitím 20% ... 5 GWh, což je asi 70% průměrného příkonu sítě. Ale pro jeho plné využití by každá připojená nabíječka musela přenést právě 50 kW, na což není hodinově ani dimenzované vozidlo, ani síť.
- ❑ Denní rozložení podle možností připojení a podle polohy dne v týdnu.
- ❑ Baterie na 7 GWh – cena $22 \text{ Kč}/\text{\$} \cdot 100 \text{\$/kWh} \cdot 7\,000\,000 \text{ kWh} = 14 \text{ GKč}$ na 1 h provozu sítě
- ❑ Zimní požadavky – anticyklona nad střední Evropou běžně 7 – 10 dní.



ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

3. Rozvoj infrastruktury

Extrémní stav nabíjecí infrastruktury (jen BEV)

- 6 000 000 osobních a malých dodávkových vozidel
- 2 000 000 na veřejných parkovištích: nabíječky pro více vozidel, která se budou při nabíjení střídat?
- 2 200 000 vozidel v garážích rodinných domů.
- „Weekendové nabíjení“ - navýšení o 50% ... pro noční nabíjení u stojanu je k dispozici jen 6-8 h, takže okamžitý výkon pro síť představuje 4,5 až 6krát vyšší výkon než pro průměrné nabíjení. Jak se zaplatí nízké využití?
- Tato úvaha nezahrnuje navýšení špičkového odběru dalším nočním nabíjením v garážích RD ani zvýšené nároky na nabíjecí výkon, pokud by baterie vozidel byly během dlouhodobého připojení na síť využívány jako stabilizující prvek sítě a čas pro potřebné nabíjení by se tím dále zkrátil.
- Žádná SMART GRID nevytvoří novou energii, jen zrovnoměrní její odběr.



ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

3. Rozvoj infrastruktury

- ❑ Elektromobily pro přepravu na krátké vzdálenosti jak pro dojíždění, tak pro „poslední míli“ dodávkových služeb jsou racionální. Při soukromém vlastnictví „druhého auta do rodiny“ se však oddaluje dosažení nájezdu, při kterém bude BEV s počáteční velkou emisní „investicí“ do výroby baterie výhodnější než klasické vozidlo.
- Problematika rychlonabíjení během cesty a optimalizace delších cest může pomoci.
- Omezování počtu parkovacích míst v již tak napjatém zajištění „dopravy v klidu“. Asi 7 automobilů podélně mezi 2 lampy, při využití lampy na 2 nabíječky redukce počtu parkovacích míst o cca 28%
- Otázky požární bezpečnosti v garážích RD a při hromadném parkování BEV – i v návaznosti na pojištění vozidel a nemovitostí.
- Popsané problémy vyžadují postupné přivykání obyvatel novému stylu života, osvětu a příklady pozitivních účinků. Sociologicko-politická otázka. Diktát nových příkazů a zákazů situaci nezlepší.



ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

2. Základní vlastnosti elektromobilů – energie, emise, způsoby hodnocení

Hnací jednotky mohou být založeny na různě účinných a různě hmotných uspořádáních

- na spalovacích motorech. Paliva fosilní i obnovitelná (vodík, e-fuels). Relativně lehký pohon, protože **oxiduje palivo kyslíkem z atmosféry**. Spotřeby nižší střední třída 45-65 kWh/100 km, hybridy HEV méně, dobíjecí hybridy PHEV podle využití obou částí. 10 kWh = 1 l motorové nafty.
- na palivových článcích FC + akumulátorové baterii pro palivo vodík, **oxiduje kyslíkem z atmosféry**. Trochu těžší pohon, drahý, spotřeba 30-40 kWh/100km.
- BEV - na lehkém elektromotoru s reduktorem a baterií (daleko těžší a dražší než pouhý souhrn článků), která velmi těžká, protože **oxidační činidlo uvnitř**. Spotřeby kolem 15-25 kWh/100 km. Baterie mezi 0,1 (LiFePO) – 0,2 kWh/kg (LiNiCo+Mn anebo Al). Využitelná nádrž je ne 100 krát, ale 35krát těžší při stejném dojezdu.



ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

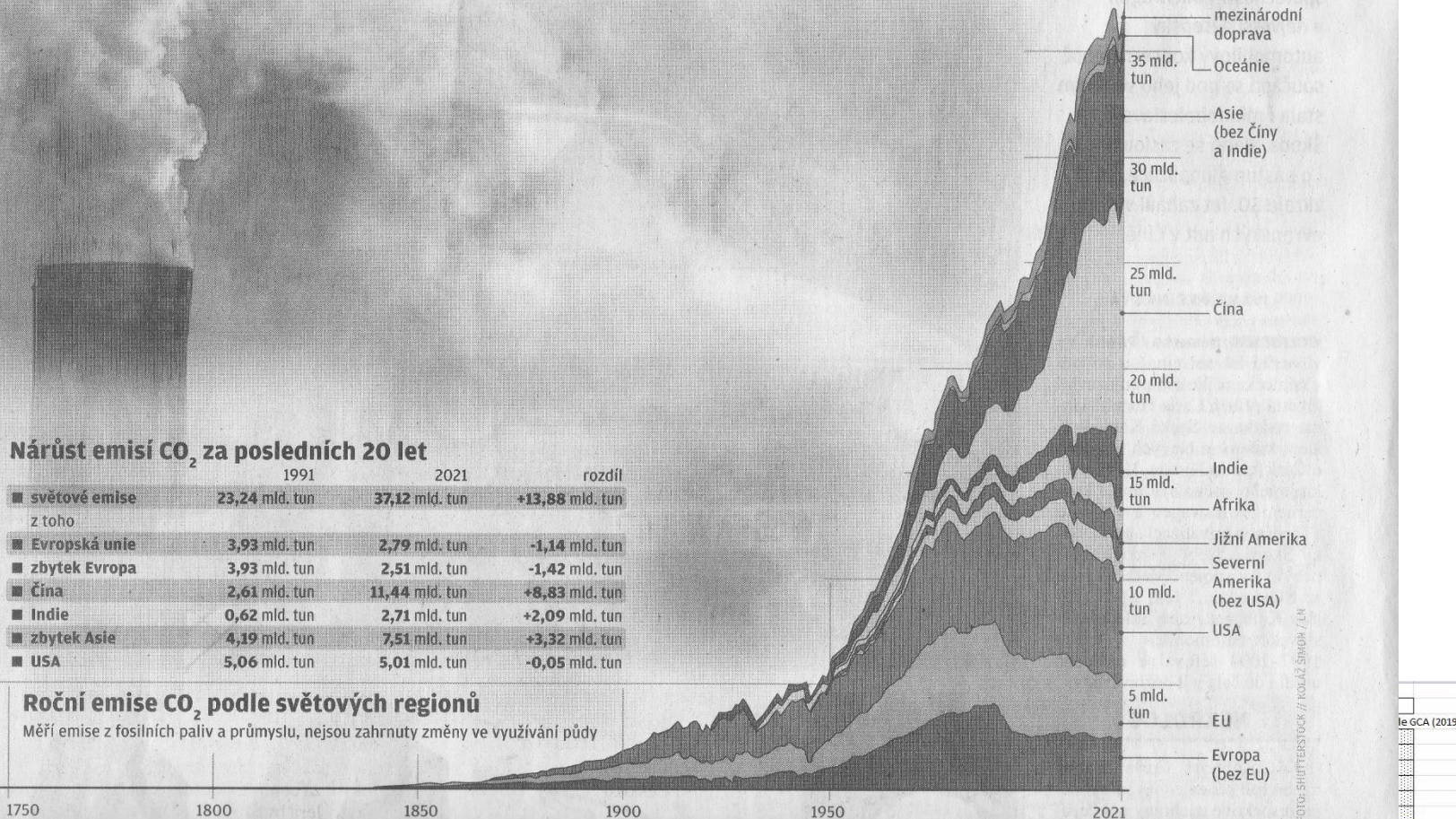
Nárůst emisí CO₂ za posledních 20 let

	1991	2021	rozdíl
■ světové emise	23,24 mld. tun	37,12 mld. tun	+13,88 mld. tun
z toho			
■ Evropská unie	3,93 mld. tun	2,79 mld. tun	-1,14 mld. tun
■ zbytek Evropa	3,93 mld. tun	2,51 mld. tun	-1,42 mld. tun
■ Čína	2,61 mld. tun	11,44 mld. tun	+8,83 mld. tun
■ Indie	0,62 mld. tun	2,71 mld. tun	+2,09 mld. tun
■ zbytek Asie	4,19 mld. tun	7,51 mld. tun	+3,32 mld. tun
■ USA	5,06 mld. tun	5,01 mld. tun	-0,05 mld. tun

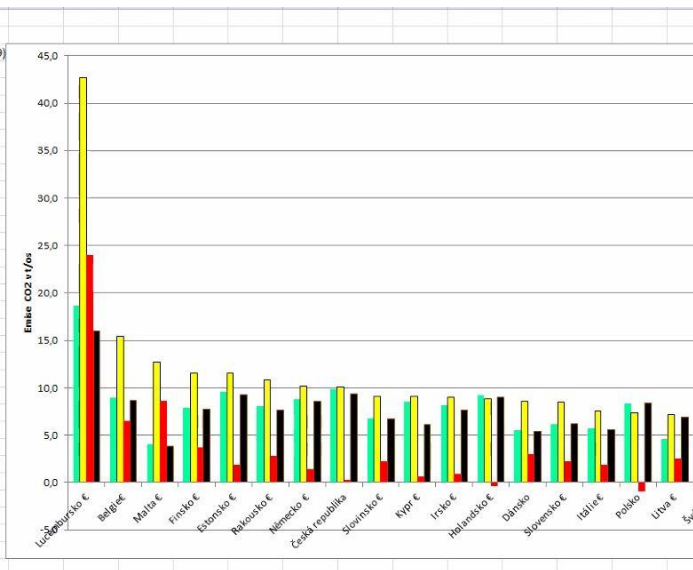
Roční emise CO₂ podle světových regionů

Měří emise z fosilních paliv a průmyslu, nejsou zahrnuty změny ve využívání půdy

Nová statistika UN a EU o skleníkových emisích



7	Německo €	8,8	10,2	1,4	8,5
8	Česká republika	9,8	10,1	0,3	9,4
9	Slovensko €	6,8	9,0	2,2	6,2
10	Kypr €	8,5	9,0	0,6	6,1
11	Irsko €	8,1	9,0	0,9	7,6
12	Holandsko €	9,2	8,8	-0,3	9
13	Dánsko	5,5	8,6	3,0	5,4
14	Slovensko €	6,2	8,4	2,2	6,2
15	Itálie €	5,7	7,6	1,9	5,6
16	Polsko	8,3	7,4	-0,9	8,4
17	Litva €	4,6	7,2	2,6	6,9
18	Švédsko	4,3	7,2	2,8	4,1
19	Maďarsko	4,9	6,6	1,7	5,1
20	Francie €	4,8	6,5	1,6	4,9
21	Lotyšsko €	3,8	6,2	2,4	5,8
22	Španělsko €	5,4	5,9	0,5	5,4
23	Bulharsko	5,8	5,2	-0,6	6
24	Portugalsko €	4,5	5,0	0,5	4,7
25	Chorvatsko	4,0	4,9	0,8	4,3
26	Řecko €	5,8	4,8	-1,1	6,3
27	Rumunsko	3,5	3,6	0,1	3
		6,9	9,5	2,6	6,8



ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

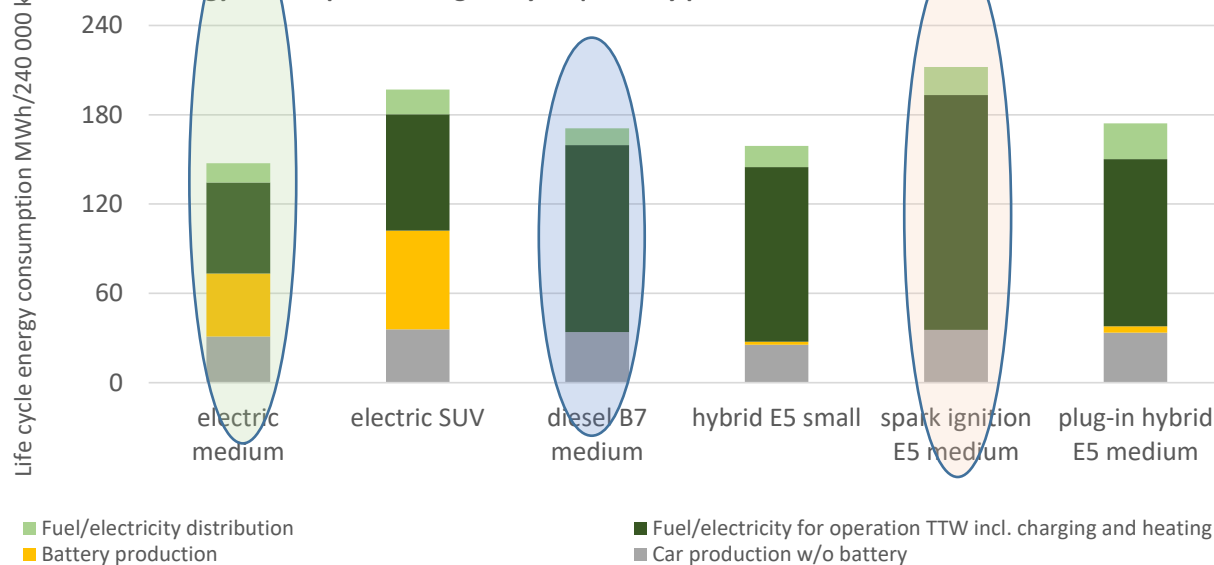
2. Základní vlastnosti elektromobilů – energie, emise, způsoby hodnocení

Srovnání energetických spotřeb a emisí LCA

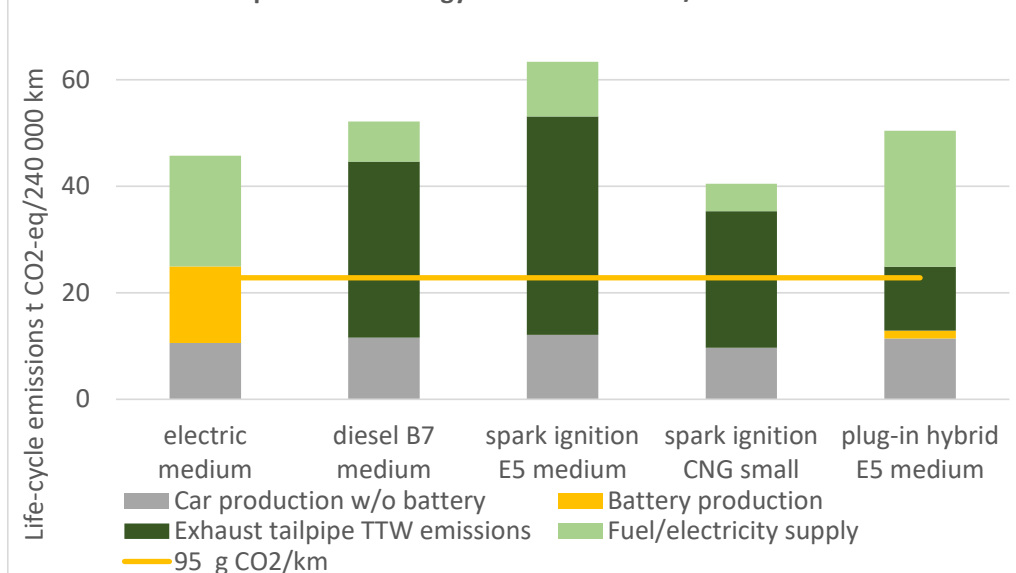
- 1 l nafty = 10 kWh = 36 MJ
- WTW – celková spotřeba od primárního zdroje na kola, TTW z nádrže na kola, WTT od zdroje do nádrže
- BEV **15-35 kWh/100 km podle dojezdu.**
- Jsou tu rozpočteny pořizovací „náklady“ LCA, tedy spotřeba energie na výrobu vozidla a jí indukované emise CO₂.

Life cycle energy consumption MWh/240 000 km

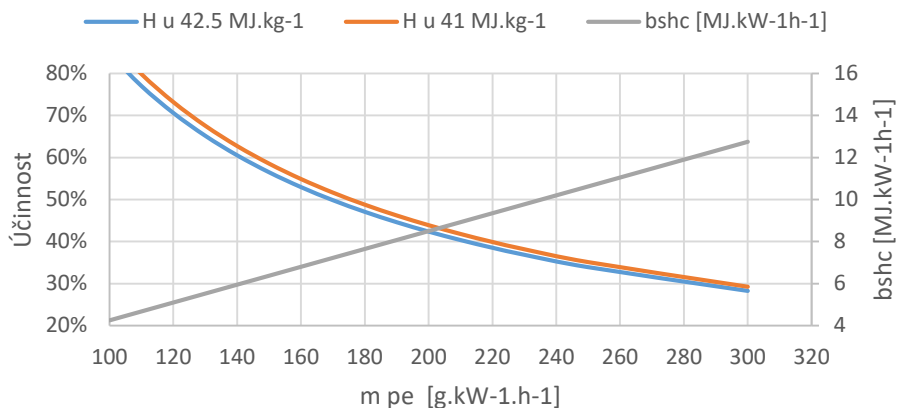
Energy consumption during life cycle | Battery production 353 kWh tot/kWh bat



Life-cycle emissions t CO₂-eq/240 000 km; el.en. GHG factor - operation 340 g CO₂/kWh; bat. manufacture 340 g CO₂/kWh; production energy cons. 353 kWh tot/kWh bat



Závislost účinnosti a měrné spotřeby energie na měrné spotřebě paliva



ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

5. Výhled počtu osobních elektromobilů a jeho dopady

- **Cena jízdy BEV 2.3 Kč/km při 10 Kč/kWh, při rychlonabíjení více. Naftový automobil 2.2 Kč/km se spotřební daní 8.50-10 Kč/l za 40 Kč/l. Ovšem navíc odpovídající naftový automobil z odpisů ceny auta za 250 000 km + 2 Kč/km, elektrický + 4 Kč/km.**
- **Teprve při 50% podílu jádra a větším OZE dosáhneme příznivějšího emisního faktoru, to se týká i celé Evropy (předp. 0,28 kg CO₂/kWh, ze sítě ale 0,35 CO₂/kWh). A navíc výroba, cca 350 kWh/kWh baterie (GreenNCAP), takže dorovnání emisí až po určitém nájezdu.**
- **V ČR tč. u dieselů někde kolem 120 00 km při výrobě baterie v ČR, v Číně nad 240 000 km (ted' 77% baterií).**
- **Výměna vozového parku vyžaduje intenzivní výrobu BEV během následujících 20 let.**
- **Předpokládáme-li, že po roce 2035 bude emisní faktor z výroby elektrické energie v EU cca 0,1 kg CO₂eq/kWh(el) – dnes je kolem 0,3 kg CO₂eq/kWh(el), pak při výrobě všech vozidel v zemích EU by se **přesunutím termínu zákazu z roku 2035 na rok 2045 v kritických přechodových rocích 2045 až 2063 snížily emise v EU a ve světě o 17,2 milionů t CO₂eq/rok****
- **Pokud by výroba všech vozidel probíhala v Číně (což je katastrofický, ale zcela myslitelný scénář) s předpokládaným emisním faktorem 0,564 kg CO₂eq/kWh(el) – dnes přes 750 g CO₂/kWh – snížily by se **přesunutím termínu zákazu z roku 2035 na rok 2045 v kritických přechodových rocích 2045 až 2063 světové roční emise o 224,6 milionu t CO₂eq/rok.****



ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE