

Projekt dekarbonizace dopravy

Jiří Pohl, Siemens Mobility

Masarykova univerzita Brno, 30. 4. 2024

Karbonizace a dekarbonizace

Nejvýznamnější událostí v dějinách lidstva nebyla žádná válka, žádná revoluce, žádné politické hnutí, ale **karbonizace, objev a užití fosilních paliv**.

Fosilní paliva dala lidstvu energii, která mu umožnila nejen do té doby nevídaný rozvoj průmyslu, dopravy a bydlení, ale i vzdělanosti a vědění.

Avšak platí nejen **zákon zachování energie**, který lidstvo motivuje k těžbě, importu, nákupu a spalování fosilních paliv, ale i **zákon zachování hmoty**, který způsobil, že spalováním fosilních paliv již lidstvo zvýšilo množství oxidu uhličitého v zemském obalu o 1,4 bilionu tun s důsledkem nevratných klimatických změn, které zhoršují podmínky pro život lidstva na Zemi.

S vědomím těchto skutečností se reprezentanti téměř 200 zemí z celého světa (včetně ČR) na konferenci v Paříži v roce 2015 dohodli, že zastaví zvyšování teploty ovzduší na hodnotě 1,5 až 2 °C. Následně Mezinárodní energetická agentura IEA spočetla, že k naplnění tohoto cíle je potřeba **dekarbonizace, ukončit do roku 2050 spalování uhlí, ropy a zemního plynu**.

Z fyzikálního hlediska je odklon od používání fosilních paliv reálný. Energii, kterou dává lidstvu spalování **uhlí, ropy a zemního plynu za rok** přinášejí **paprsky slunečního záření k Zemi každých 40 minut**. Ale je to potřeba udělat **chytře**, neboť udržitelný rozvoj má nejen **environmentální, ale i ekonomickou a sociální dimenzi**.

Transfer oxidu uhličitého

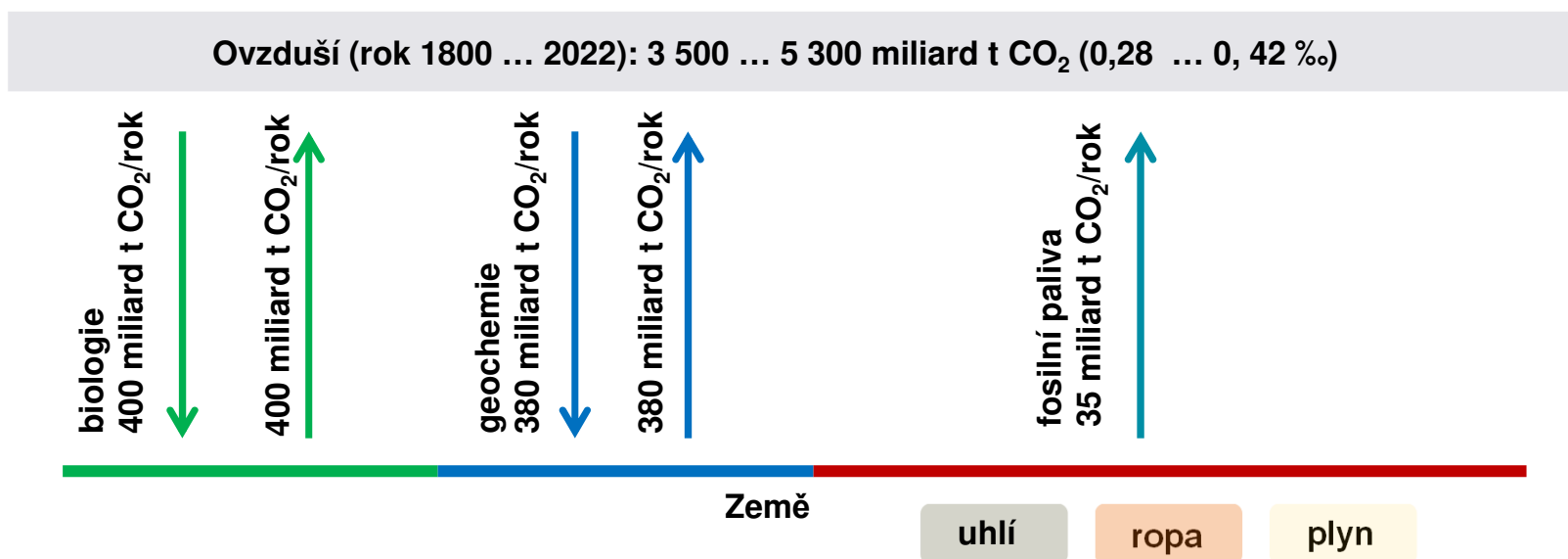
Přírodní procesy každoročně **z ovzduší odebírají a do ovzduší navracejí** $400 + 380 = 780$ miliard t CO₂/rok.

Od doby objevu používání fosilních paliv (uhlí, ropa, plyn) se díky lidské (antropogenní) činnosti dostávají do ovzduší velká (a stále větší) množství CO₂, vzniklého spalováním fosilních paliv – uhlí, ropy a zemního plynu.

Oxid uhličitý, potřebný pro jejich tvorbu, byl z atmosféry pozvolna odebrán před zhruba 200 miliony let.

Nyní je s milionkrát větší intenzitou oxid uhličitý, vzniklý spalováním uhlí, ropných produktů a zemního plynu, **předáván z podzemí do ovzduší** (aktuálně: cca 35 miliard t CO₂/rok).

Spalováním fosilních paliv již bylo zvýšeno množství CO₂ v ovzduší z **3 500 o 1 700 na 5 300 mil.t**, tedy zhruba o 50 %.



Důsledky spalování fosilních paliv (skleníkový efekt)

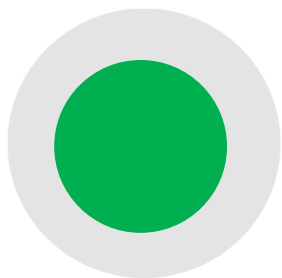
Vlivem spalování fosilních paliv stále roste koncentrace oxidu uhličitého v zemském obalu.

Zemská atmosféra má tepelně izolační schopnost. Přes noc uchovává teplo. Oxid uhličitý, podobně jako ostatní skleníkové plyny, propouštějí na zemi sluneční záření, ale absorbují tepelné záření vycházející ze země do vesmírného prostoru.

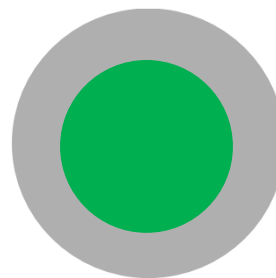
Již koncem 19. století spočítal pozdější nositel Nobelovy ceny Swante Arrhenius, že zvýšení koncentrace CO₂ v atmosféře povede ke zvýšení teploty ovzduší.

Nejde jen o růst střední teploty, ale o růst výkyvů.

Ilustrují to statistiky pojišťoven – roste riziko poškození věcí přírodními vlivy.



Ovzduší (rok 1800):
3 500 miliard t CO₂
koncentrace 0,28 ‰
výchozí teplota



Ovzduší (rok 2022):
5 300 miliard t CO₂
koncentrace 0,42 ‰
výchozí teplota zvýšená o 1 °C

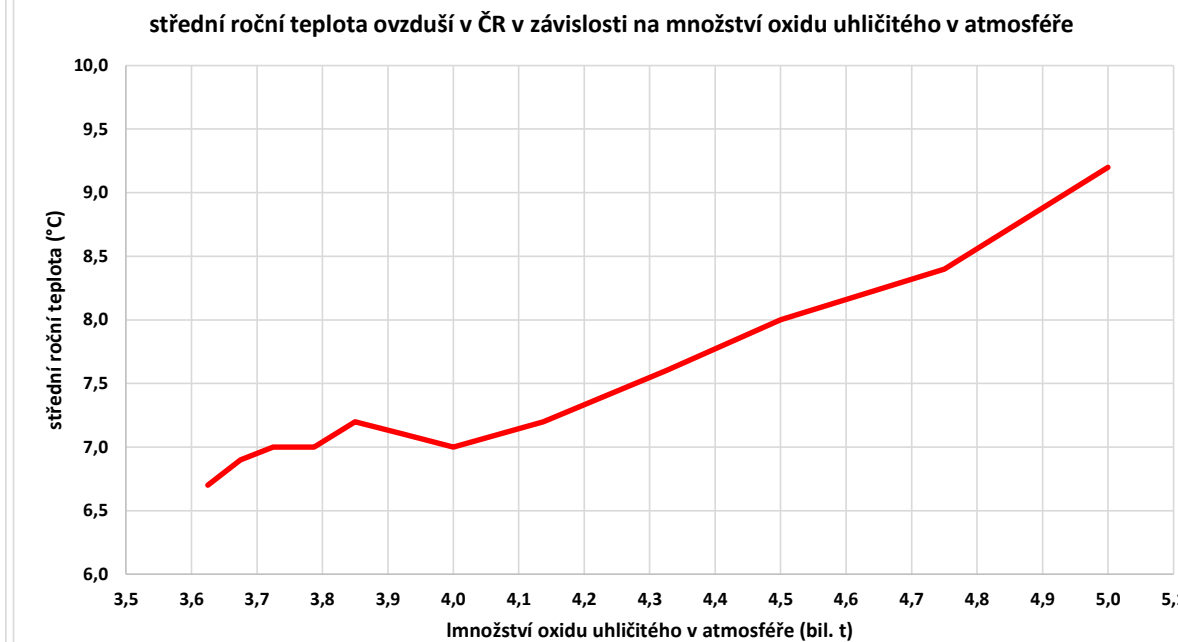
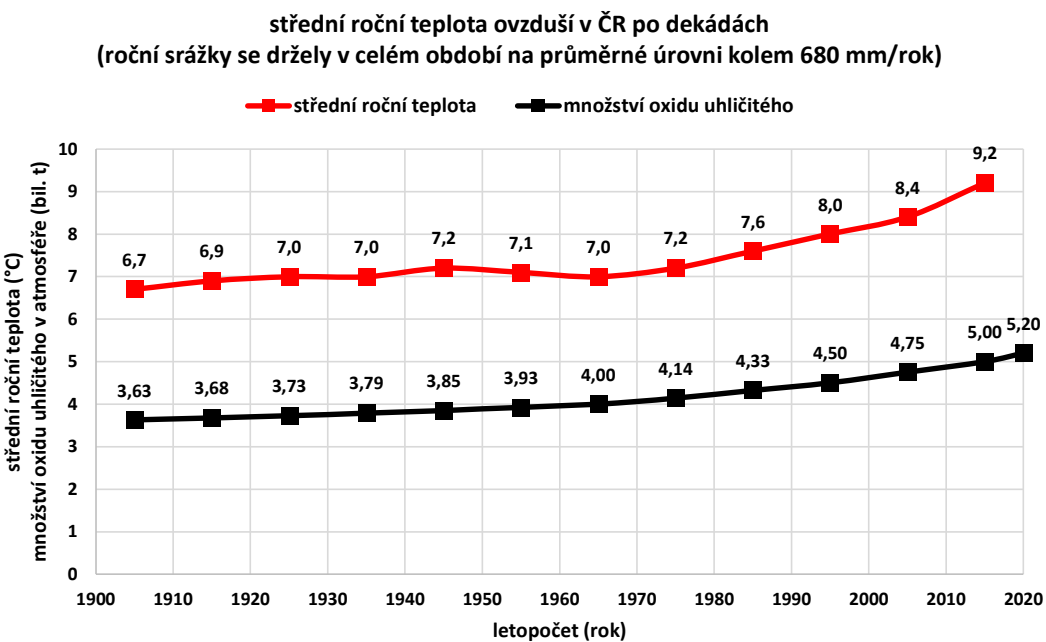
Realita změny klimatu v ČR

Nevratné klimatické změny, způsobené spalováním fosilních paliv s důsledkem růstu koncentrace oxidu uhličitého v zemském obalu jsou realitou. Závislost střední roční teploty ovzduší na množství oxidu uhličitého v zemském obalu je velmi zřejmá:

- ČR se na emisích významně podílí, produkuje 12 t CO₂ eqv./osobu/rok. Mezi roky 1905 a 2015 došlo spalováním uhlí, ropy a zemního plynu ke **zvýšení množství oxidu uhličitého v zemském obalu ze 3,63 bil. t na 5,00 bil. t, tedy o 1,37 bil. t.**

- střední roční teplota v ČR **vzrostla z hodnoty 6,7 °C v dekádě 1901 až 1910 na hodnotu 9,2 °C v dekádě 2011 až 2020, tedy o 2,5 °C za 110 let.** Z důvodu **asymetrie** tepelné kapacity Země (**na severním pólu již vzrostla teplota o 5 °C**, na jižním pólu je téměř bez změny, neboť je pevninou a má proto mnohonásobně větší zásoby ledu) **roste teplota v ČR dvojnásobným tempem** oproti celé Zemi.

Příčina sucha, které ČR zažívá (**34 % území ČR je postiženo dlouhodobým suchem** a kontinuálním poklesem hladiny spodní vody), není nedostatek atmosférických srážek. V ČR ročně spadne i nyní v průměru zhruba **680 mm srážek ročně**, stejně jako na začátku minulého století. Jen jejich odpařování je vlivem zvýšené teploty více intenzivní a jejich odtok při náhlých deštích je četnější.



Kompenzace spalování fosilních paliv funkcí lesů

Rostliny se zúčastňují koloběhu oxidu uhličitého v přírodě – při růstu jej pro fotosyntézu odebírají z ovzduší a při tlení či spalování jej vrací zpět do ovzduší. V dlouhodobém cyklu jsou z hlediska CO₂ neutrální.

Určitou výjimkou jsou hospodářsky využívané lesy – dřevo stromů, které nezetlí či není spáleno, v sobě váže oxid uhličitý, přibližně v poměru 1 t CO₂ na 1 m³ dřeva.

plocha území ČR 7,9 mil. ha,
lesnatost území ČR 34 %,
plocha lesů na území ČR 2,7 mil. ha,
roční přírůstek dřeva v lesích v ČR 18 mil. m³/rok
měrná roční produkce dřeva 6,8 m³/ha/rok,
měrná roční schopnost absorpce CO₂ 6,8 t/ha/rok,
roční schopnost absorpce CO₂ lesů v ČR..... 18 Mt/rok.

=> pro ukládání oxidu uhličitého, aktuálně produkovaného dopravou v ČR v úrovni 19 Mt CO₂/rok spalováním 73 TWh/rok fosilních paliv, by bylo potřeba zalesnit dalších 2,8 mil. ha, tedy dalších 36 % z celkové plochy území státu a vyprodukované dřevo uschovat (nesmí se spálit ani zetlít). To není reálné.

Množství oxidu uhličitého, který je schopen jeden hektar lesa uložit za rok do dřevní hmoty, vyprodukuje osobní automobil se spotřebou nafty 5,1 litru na 100 km při ujetí vzdálenosti 50 000 km: $50\,000 \cdot 5,1/100 \cdot 2,65 = 6\,800$ kg CO₂.

Projektové řízení dekarbonizace

Odklon od **života v rovnováze s přírodou k životu závislém a spalování fosilních palivech** proběhl v 18. až 20. století spontánně a neřízeně, jeho přirozeným akcelerátorem byla snaha o zvýšení životní úrovně.

Náhrada fosilních paliv obnovitelnými zdroji energie v období pouhých 27 let (2023 až 2050) samovolně nenastane, dekarbonizace je řízeným procesem. Pokud má dekarbonizace proběhnout efektivně a zdárně, musí být **uchopena jako projekt**, tedy musí mít:

- **motiv,**
- **cíl,**
- **nástroje,**
- **zdroje,**
- **projektové řízení.**

Motiv je zřejmý (**zatavení změn klimatu**), cíl též (**zbavit se do roku 2050 závislosti na fosilních palivech**).

Také nástroje jsou k dispozici. A to jak technické (inovativní technologie), tak i ekonomické (například EU ETS).

Zdroje jsou k dispozici též, a to především lidské. **Lidská práce je obnovitelným zdrojem.**

Nic nebrání tomu **uchopit dekarbonizaci jako projekt a řídit ji jako projekt.**

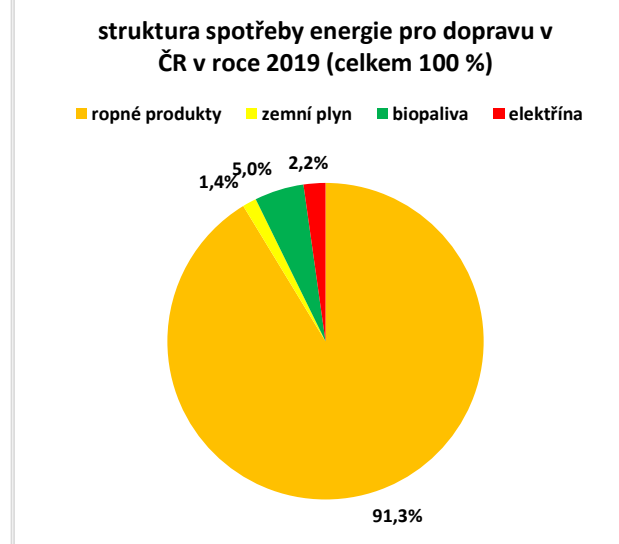
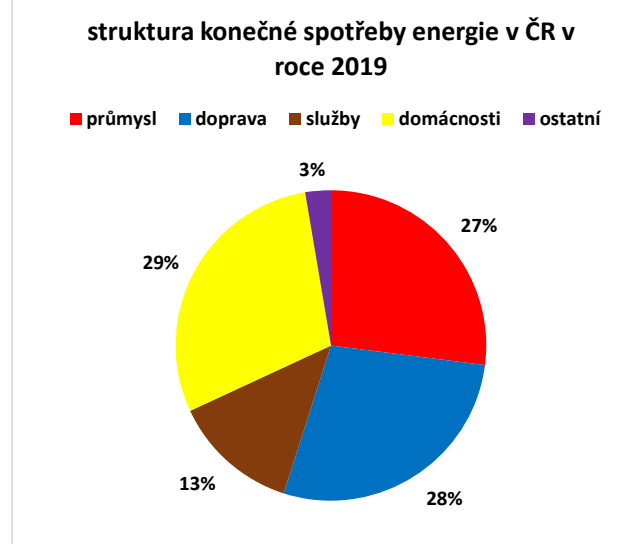
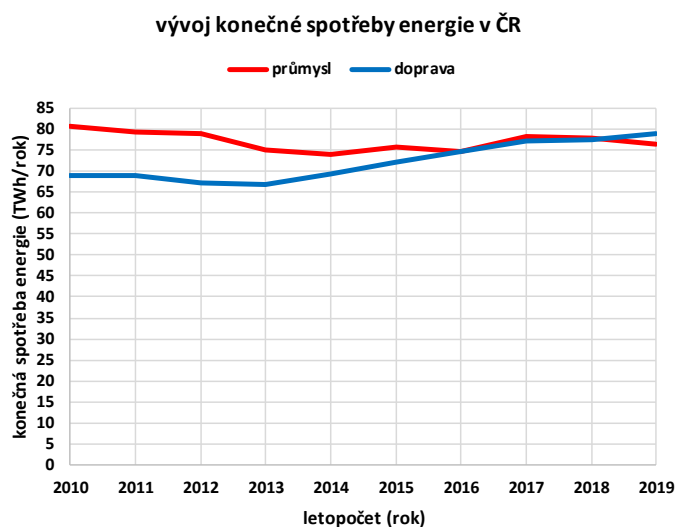
To platí i pro dekarbonizaci dopravy.

Energetická náročnost dopravy v ČR

Rada EU schválila v červenci 2023 novelizaci směrnice 2012/27/EU o zvyšování energetické účinnosti. ČR má zvýšit tempo nových úspor energie z dosavadních 0,8 %/rok na 1,3 %/rok od roku 2024, 1,5 %/rok od roku 2026 a 1,9 %/rok od roku 2028.

Na rozdíl od příznivého vývoje při snižování spotřeby energie v oblasti průmyslu a domácností se v období do roku 2020 doprava vyvíjela zcela opačně, spotřeba energie v dopravě vytrvale rostla o cca 3 % ročně. Extenzivní rozvoj dopravy způsobil, že spotřeba energie pro dopravu již v ČR překonala spotřebu energie v průmyslu. Přitom **93 % energie pro dopravu tvoří fosilní paliva**, 5 % biopaliva a 2 % elektrická energie.

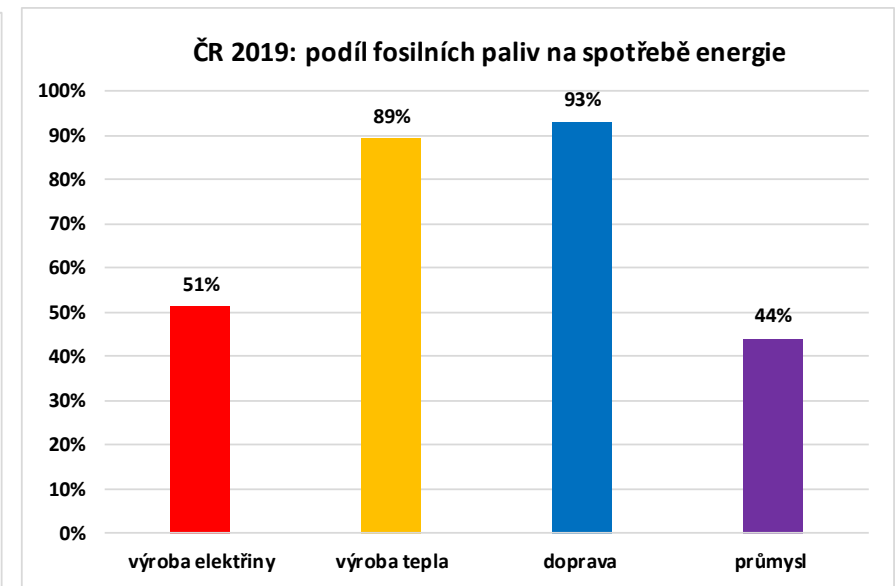
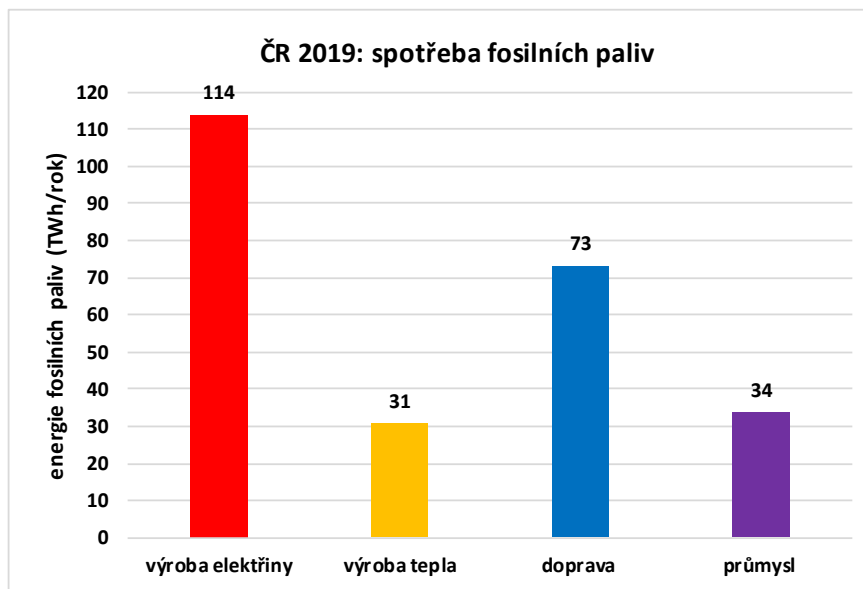
=> ke splnění cílů ČR v oblasti energetiky a klimatu je nutno v období 2021 až 2030 zapojit do systematického trendu a programů úspor energie kromě průmyslu a domácností plnohodnotně i dopravu.



Energetická bilance ČR 2019 (poslední rok před Covid 19): fosilních paliva

Emisní povolenky EU ETS dosud regulují jen zhruba polovinu tuzemské produkce oxidu uhličitého spalováním fosilních paliv. Tato část spotřeby již významně pocítuje jejich dopad a proto intenzivně řeší dekarbonizaci (například: teplárenství).

Od roku 2027 dojde ke zpoplatnění produkce oxidu uhličitého i v oblastech dosud neregulovaných emisními povolenkami EU ETS (včetně dopravy).



- doprava je v ČR větším spotřebitelem fosilních paliv, než výroba tepla a průmysl dohromady,
- doprava je ze všech hospodářských odvětví ČR největším podílem závislá na fosilních palivech,
- doprava se brzy stane největším spotřebitelem fosilních paliv v ČR (klesající trend v energetice a rostoucí trend v dopravě).

Energetická bilance dopravy v ČR 2019

Spalovací motory: nízká účinnost tepelného (Carnotova) cyklu – na mechanickou práci se přemění jen cca 1/3 energie paliva, zbylé 2/3 energie paliva se mění ve ztrátové teplo:

- 33 % energie pracuje,
- 100 % energie paliva je nutno zaplatit,
- 100 % paliva se promění CO₂ a mění klima,
- 100 % produkuje škodlivé látky (NO_x, PM, PAH, ...) a poškozují lidské zdraví

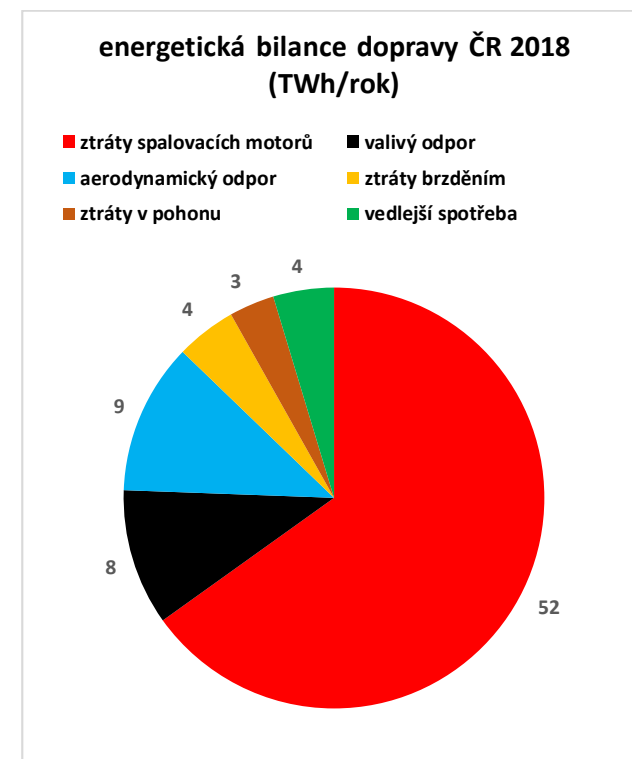
spotřeba energie v dopravě	79 TWh/rok
spotřeba energie paliv v dopravě	77 TWh/rok
energie využitá pro pohon vozidel z paliv	25 TWh/rok
ztrátové teplo v dopravě z paliv.....	52 TWh/rok

⇒ tepelný cyklus (tepelné stroje) lze používat jen tam, kde lze využít ztrátové teplo,

⇒ **tepelný cyklus** (tepelné stroje) **nepoužívat v dopravních prostředcích**

V dopravních prostředcích nelze využít ztrátové teplo spalovacích motorů.

Spalovací motor neumí rekuperovat brzdnou energii – nevyužívá potenciál 10 až 30 % úspor trakční energie.



Ztrátové teplo spalovacích motorů dopravních prostředků činí v ČR 52TWh/rok. To je více než dvojnásobek tepelné energie dodávané teplárnami v celé ČR svým odběratelům (24 TWh/rok).

Motivace k dekarbonizaci dopravy

1. Ochrana klimatu

V energetice a v průmyslu je v ČR inovativními investicemi systematicky snižováno používání fosilních paliv a spolu s tím i produkce oxidu uhličitého. **Je neúnosné, aby se i nadále vyvíjela doprava zcela opačně,**

2. Ochrana zdraví

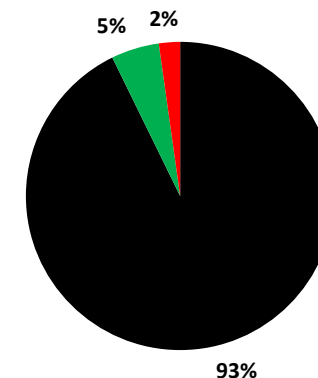
V ČR jsou systematicky snižovány emise zdraví škodlivých látek z lokálních topenišť a z průmyslové výroby. Doprava za tímto trendem zaostává. **Ve městech se doprava stala dominantním (až 90 %) znečišťovatelem ovzduší zdraví škodlivými látkami** (oxidy dusíku NO_x, polyaromatické uhlovodíky PAH, prchavé organické látky VOC a jemné prachové částice PM).

3. Ochrana míru

93 % spotřeby energie pro dopravu činí v ČR importovaná fosilní paliva. Země EU nemají vlastní zdroje ropy a dovážejí 99 % ropy, respektive ropná paliva, a to zpravidla z problematických zemí. To je činí **nesvobodnými a vydíratelnými**. Proti svému přesvědčení **financují nákupem ropy vyzbrojování agresivních armád,** které si nepokrytě kladou cíl je dobýt a získat.

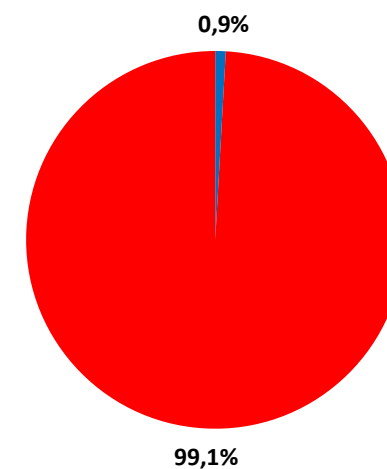
struktura spotřeby energie pro dopravu v ČR v roce 2019 (celkem 100 %)

■ importovaná fosilní paliva ■ biopaliva ■ elektřina



ropná bilance zemí EU

■ vlastní zdroje ■ dovoz



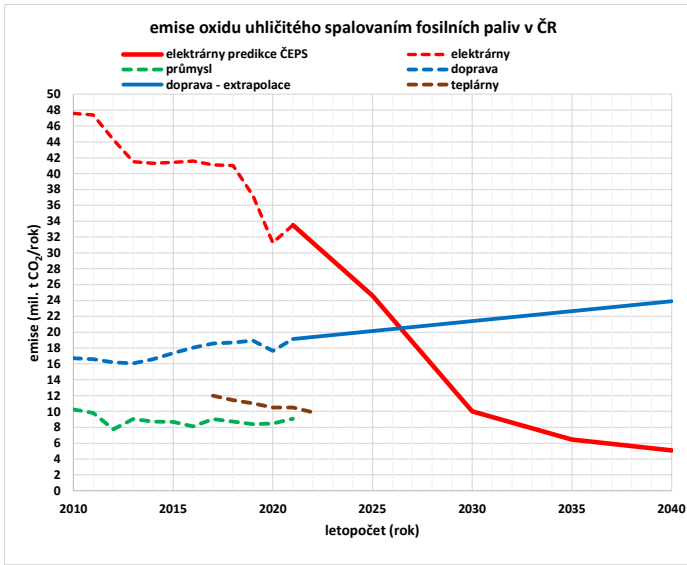
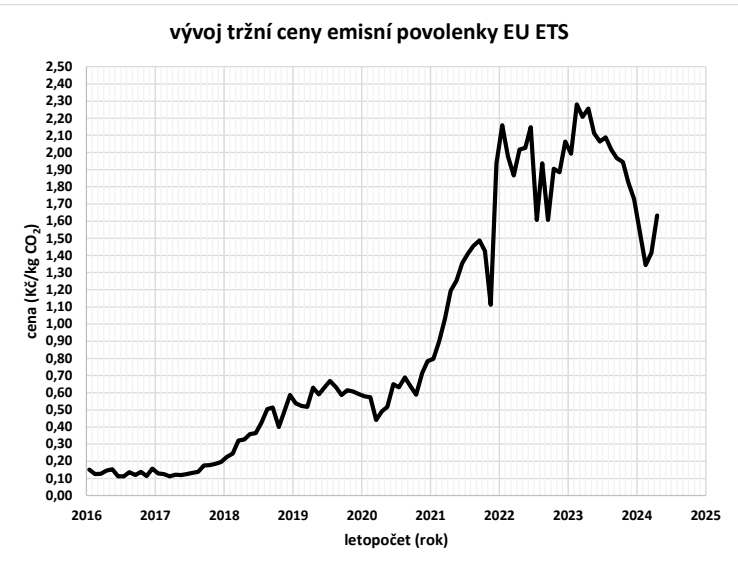
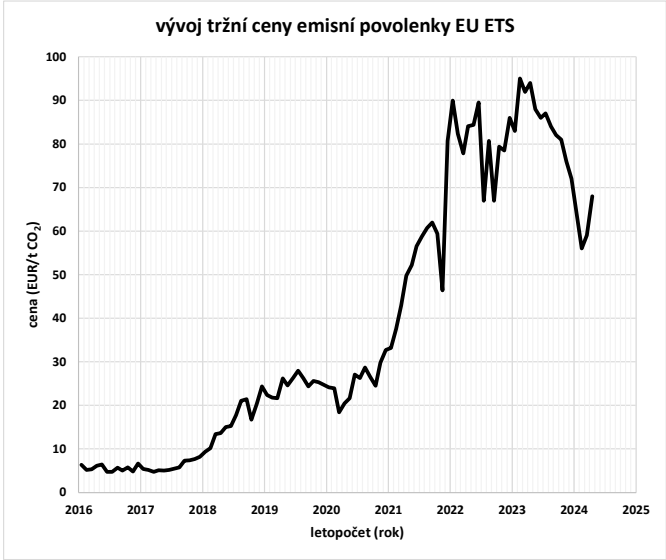
Dekarbonizace hospodářství ČR

Proces dekarbonizace (odklon od používání fosilních paliv) je v zemích EU řízen **systemem emisního obchodování EU ETS**. Množství na trhu obchodovatelných fosilních paliv je limitováno počtem ročně vydávaných emisních povolenek oxidu uhličitého, který je **postupně snižován**.

Dekarbonizaci energetiky výrazně akceleruje ekonomika: platby za emisní povolenky činí výrobu **elektrické energie v uhelných elektrárnách nekonkurenceschopnou** vůči bezemisním obnovitelným zdrojům.

Pokud by v dopravě nenastala radikální změna, a nadále by ve velkém rozsahu využívala fosilní paliva, stala by se zhruba v **roce 2027 doprava největším producentem oxidu uhličitého v ČR**. To by bylo pro jakékoliv podnikání v ČR a zejména pro strategické investování v ČR velmi nepříjemné. Podle zásad nefinančního účetnictví ESG se bude již od roku 2025 započítávat uhlíková **stopa dopravy do uhlíkové stopy organizace podle ISO 14 064 a do uhlíkové stopy produktu podle ISO 14 067**.

V prostředí s vysokou uhlíkovou stopou vstupů (elektrická energie a doprava) nelokalizují investoři své strategické investice a opouštějí je.



Proces dekarbonizace dopravy

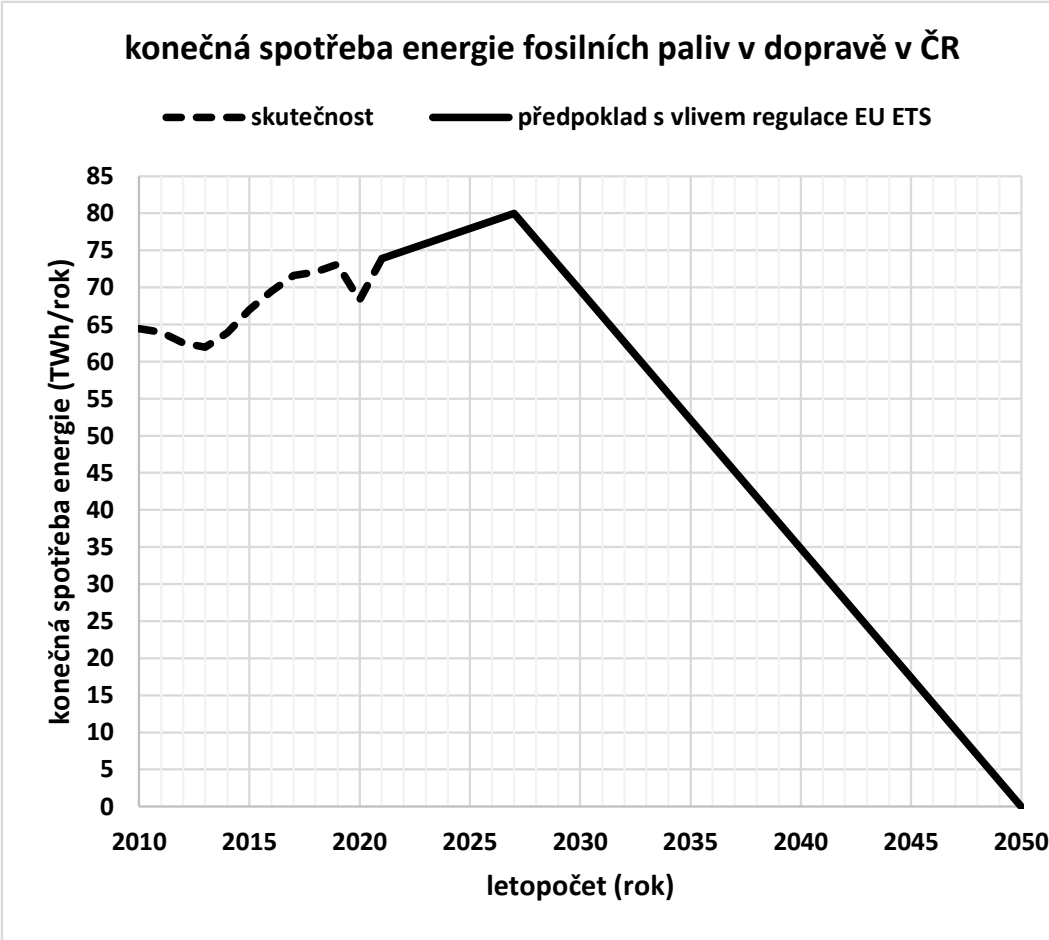
Dosavadní nesymetrie (průmysl a energetika platí emisní povolenky, doprava a domácnosti ne) bude odstraněna. Vytvořením **subsystému EU ETS 2** budou od roku 2027 zahrnuta do systému emisního obchodování i **fosilní paliva pro dopravu**.

Trajektorie poklesu množství na trhu obchodovatelných fosilních paliv je řízena **lineárním redukčním faktorem**, který určuje tempo snižování množství ročně vydávaných emisních povolenek oxidu uhličitého. A to cíleně **k nule v roce 2050**.

Je v zájmu spotřebitelů fosilních paliv se této trajektorii přizpůsobit svými inovačními aktivitami, které vedou k poklesu spotřeby energie cestou zvyšování energetické účinnosti a odklonem od používání fosilních paliv.

V opačném případě by byla **tržní cena emisních povolenek** vysoká, aby restriktivně motivovala spotřebitele k úspornému chování.

Lineární trajektorie dekarbonizace je výhodná i z hlediska **rovnoměrnosti investičního cash-flow**.



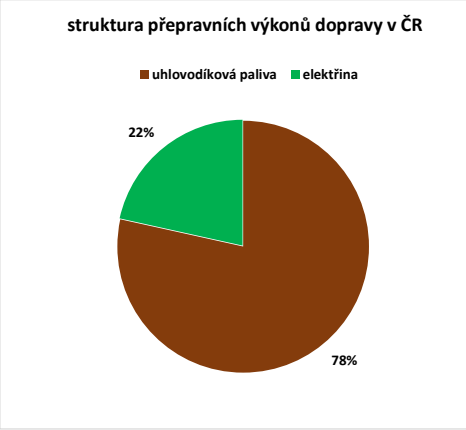
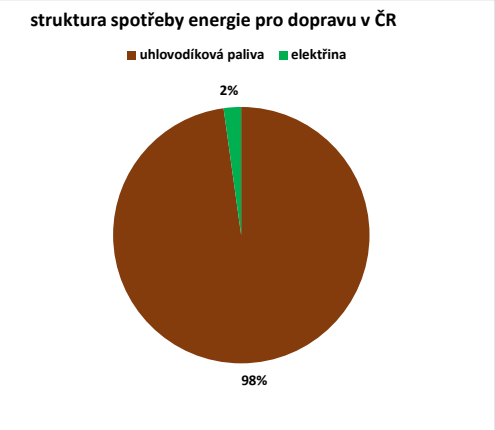
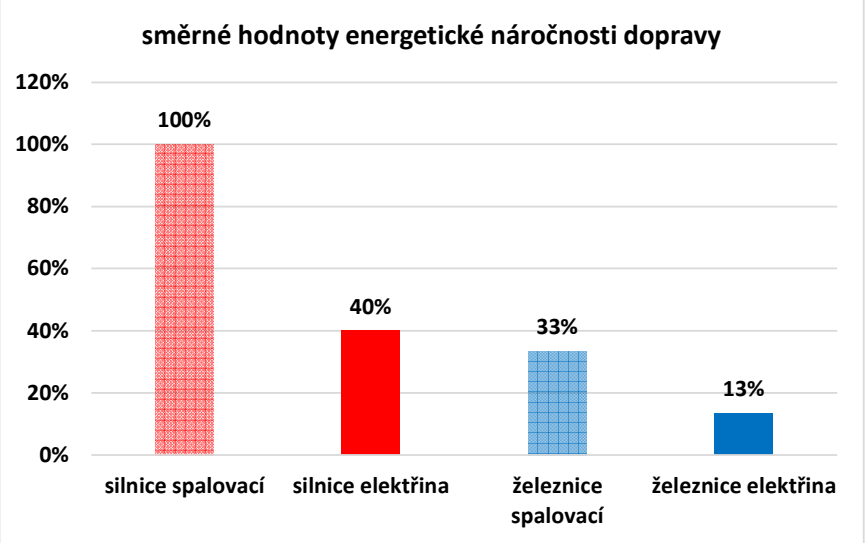
Nástroje k dekarbonizaci dopravy

Doprava v ČR nyní spotřebuje kolem **80 TWh/rok fosilních paliv**, zejména ropných. Zadání pro dopravu je jednoduché: **zajistit od roku 2050 dopravu osob a věcí udržitelným způsobem, tedy bez fosilních paliv.**

Není reálné do roku 2050 nahradit 80 TWh/rok fosilních paliv 80 TWh/rok biologických paliv. Ale je reálné zásadním způsobem snížit spotřebu energie pro dopravu a toto snížené množství energie pokrýt energií z obnovitelných zdrojů. K tomu má doprava dva nástroje:

- náhrada pohonu vozidel **spalovacími motory s účinností kolem 32 % elektrickým pohonem s účinností kolem 80 %, tedy s 2,5krát nižší energetickou náročností (intramodální úspory energie),**
- **převedení silných a pravidelných přeprav** ze silniční automobilové dopravy (vysoký odpor valení pneumatik po vozovce, vysoký aerodynamický odpor samostatně jedoucích vozidel) na železnici (nízký odpor valení ocelových kol po ocelových kolejnicích, nízký aerodynamický odpor v zákrytu jedoucích vozidel tvořících vlak), **tedy s 3krát nižší energetickou náročností (extramodální úspory energie).**

Důležité **železniční tratě jsou liniové elektrizovány**, při **převodu přeprav ze silnice na železnici se oba faktory násobí, energetická náročnost klesá 7,5krát.** Náležitě využití tohoto efektu je nutnou podmínkou dekarbonizace dopravy.



Díky dominantnímu rozšíření elektrické vozby v energeticky úsporné kolejové dopravě **zajišťuje elektřina s pouhým 2 % podílem na spotřebě energií pro dopravu v ČR 22 % přepravních výkonů** veškeré dopravy.



Silnice a železnice

Na silniční a železniční dopravu je dosud nahlíženo jako na dva konkurenční druhy dopravy, zpravidla i tak jednají. Budoucnost dopravy není v soupeření silniční a železniční dopravy, ale ve **spolupráci silniční a železniční dopravy**.

silniční doprava

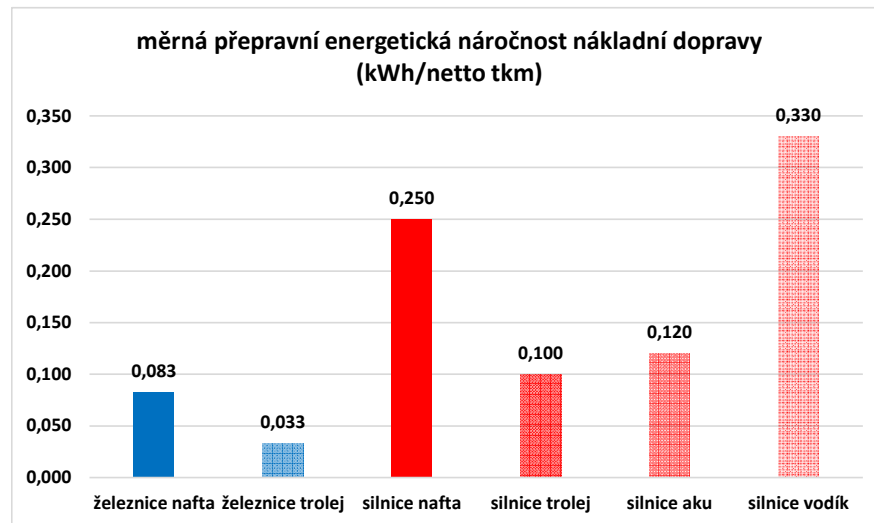
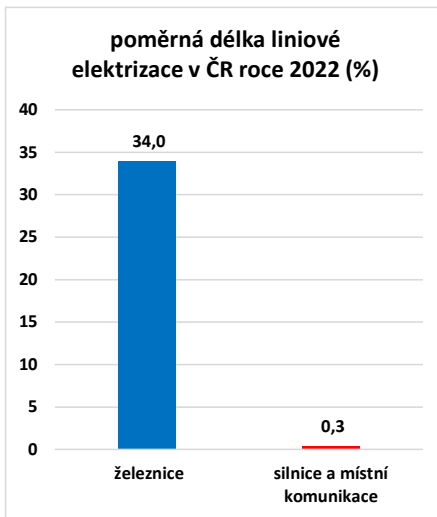
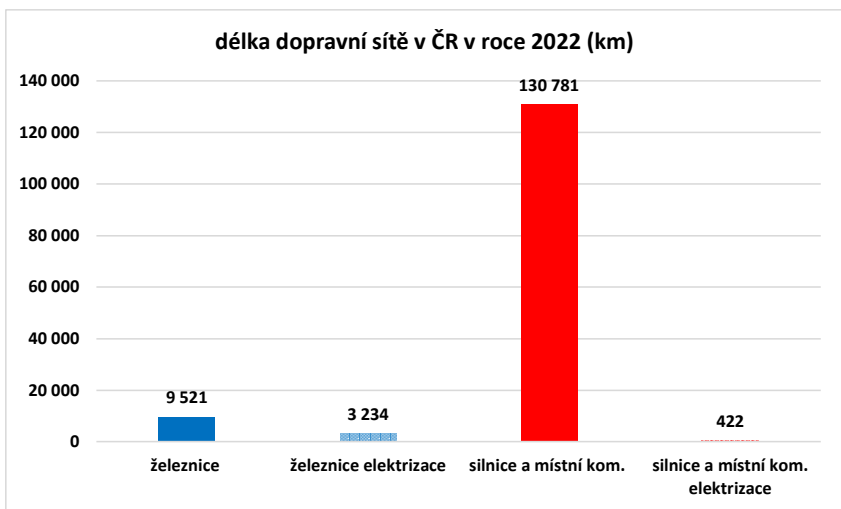
- předností je **rozsáhlá síť silnic a místních komunikací**, plošně pokrývající celou plochu území,
- slabinou je **vysoká energetický náročnost, vazba na fosilní paliva a chybějící (a nereálná) liniová elektrizace**. Nutností je používat zásobníky energie, které svou reálnou energetickou vydatností omezují dojezd vozidel

železniční doprava

- předností je **nízká energetický náročnost**, nezávislost na fosilních palivech a rozvinutá liniová elektrizace, neomezující dojezd vozidel,
- slabinou **řídka síť prakticky využitelných železnic**, nepokrývající celou plochu území.

Cílem je promyšleně **kombinovat železniční a silniční dopravu** tak, aby byly efektivně využívány jejich přednosti:

- železnice: nízká energetická náročnost, technicky vyřešená a široce zavedená liniová elektrizace, vysoká produktivita vozidel a personálu,
- silnice: schopnost plošné obsluhy území, flexibilita a operativnost



Dekarbonizace dopravy v ČR

Průběh dekarbonizace dopravy je v zásadě určen **pravidly emisního obchodování EU ETS**, respektive EU ETS 2:

- počínaje rokem 2027 počet ročně vydaných emisních povolenek bude lineárním redukčním faktorem každým rokem **postupně snižován** (černá čára),
- v roce **2050 nebude vydána žádná emisní povolenka**, doprava nebude mít k dispozici žádná fosilní paliva (fialová čára).

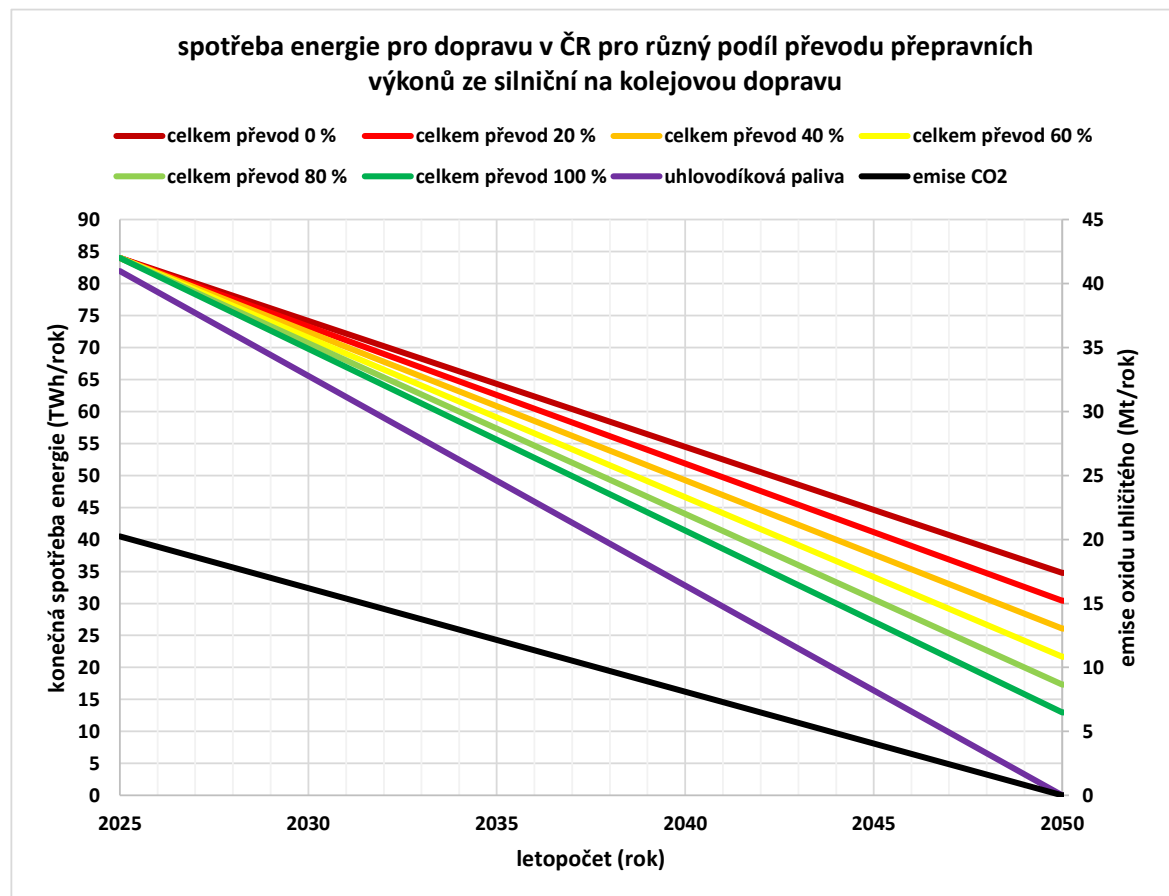
Cílem je **zajistit mobilitu osob a věcí i bez fosilních paliv**, tedy elektricky. A to **ve vysoké kvalitě a s optimální výší nákladů**.

Ve **výchozím stavu (rok 2025)** potřebuje doprava:

- cca 82 TWh/rok energie uhlovodíkových paliv,
- cca 2 TWh/rok elektrické energie (ta však díky vysoké efektivitě zajišťuje 22 % přepravních výkonů).

V **cílovém stavu (rok 2050)** bude potřebovat doprava:

- 0 TWh/rok energie uhlovodíkových paliv,
- cca 13 až 35 TWh/rok elektrické energie (v závislosti na míře **přesunu přepravních výkonů ze silniční dopravy na energeticky úspornější kolejovou dopravu**).



Pro srovnání:

- **tuzemská čistá spotřeba elektrické energie** v ČR v roce 2022: **63 TWh/rok**,
- předpokládaná produkce nové **JE Dukovany** o výkonu 1,2 GW: **8 TWh/rok**,
- **nárůst spotřeby elektrické energie pro dopravu** v ČR při náhradě uhlovodíkových paliv (v závislosti na míře převodu dopravy ze silnic na železnici: **11 až 33 TWh/rok**).

SIEMENS

Dekarbonizace dopravy v ČR

Odklon od používání uhlovodíkových paliv v dopravě má celou řadu pozitivních přínosů:

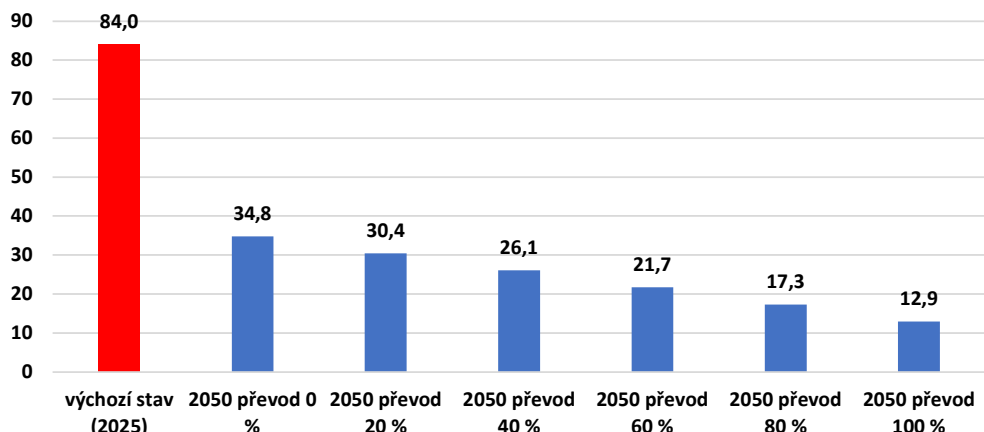
- příspěvek k **zastavení nevratných klimatických změn**, které již na ČR velmi těžce doléhají (chronické sucho z důvodu zvýšení střední roční teploty z 6,7 °C na 9,2 °C),
- zásadní **ozdravení životního prostředí** (snížení emisí NO_x, PM, PAH, VOC, ...),
- odstranění závislosti ČR na platbách za dovoz ropy a ropných paliv, využitelných k **vyzbrojování militantních zemí**,
- **zvýšení konkurenceschopnosti průmyslu** snížením uhlíkové stopy dopravy, která podle ISO zásadním způsobem vstupuje do uhlíkové stopy organizace i do uhlíkové stopy produktu.

Vede však k výraznému **nárůstu spotřeby elektrické energie pro dopravu**. Ten však lze **výrazně redukovat zhruba na jedna třetinu** u každé přepravy, kterou se podaří převést ze silnice na železnici.

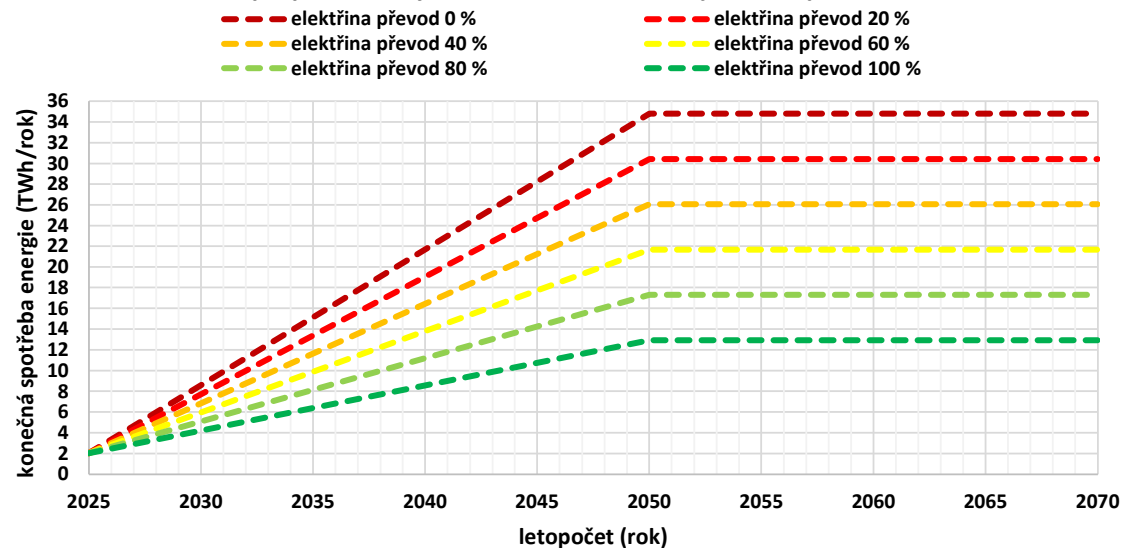
Doprava a energetika tvoří základ kritické infrastruktury státu. Proto je nutností řešit jejich dekarbonizaci **společně a koordinovaně**.

V první řadě minimalizovat optimální strukturou dopravy požadavky na zdroje energie.

energetická náročnost dopravy v ČR (TWh/rok) v závislosti na poměrném převodu silniční dopravy na kolejovou dopravu



spotřeba elektrické energie pro dopravu v ČR pro různý podíl převodu přepravních výkonů ze silniční na kolejovou dopravu



Energetická, ekonomická a environmentální udržitelnost mobility

Současná podoba mobility, založená na spalování uhlovodíkových paliv převážně fosilního původu, je z klimatických, environmentálních i geopolitických důvodů **neudržitelná**, je nutno nahradit ji udržitelnou mobilitou. Ta bude:

- bezemisní (produkce emisí se neslučuje s udržitelností),
- multimodální (není jediný univerzálně použitelný druh dopravy, kooperace a komplementárnost jsou racionální nutností).

Udržitelnost multimodální bezemisní mobility má tři dimenze:

- **environmentální** (bez fosilních paliv, bez klima poškozujících emisí CO₂, bez zdraví poškozujících emisí),
- **ekonomickou** (vyváženost nákladů a výnosů, efektivnost investic, energetická nenáročnost),
- **sociální** (dostupnost, kvalita).

Základní podmínkou udržitelnosti je **ekonomická udržitelnost:**

- bez ekonomické rovnováhy nelze splnit věčný cíl dekarbonizace, a tím zajistit environmentální udržitelnost mobility,
- bez ekonomické rovnováhy nelze zajistit mobilitu osob a věcí, a tím zajistit sociální udržitelnost mobility.

Dekarbonizace dopravy má dva základní kroky:

- **snížení energetické náročnosti** přepravy osob či věcí (kWh/os km, kWh/netto tkm) cestou zvýšení energetické účinnosti,
- **náhrada fosilních paliv** obnovitelnými zdroji energie.

Oba tyto kroky je potřebné vykonat **ekonomicky efektivně**.

Financování dekarbonizace

Celkové investiční náklady na proces úplné (0 kg CO₂/rok) dekarbonizace dopravy osob a věcí v Č R na straně dopravních prostředků a infrastrukturního energetického zázemí pro jejich provoz budou činit (velmi hrubě odhadnuto) **přes 10 bilionů Kč**.

Taková částka vyžaduje nejen příslušně dlouhé časové období (horizont roku 2050), ale i vícezdrojové financování:

- **občané** (typicky: nákup individuálních dopravních prostředků),
- **podnikatelé mimo oblast dopravy** (typicky: nákup služebních dopravních prostředků),
- **podnikatelé v oblasti dopravy** (typicky: nákup dopravních prostředků veřejné dopravy),
- **veřejné rozpočty** (typicky: budování infrastruktury a nákup dopravních prostředků veřejné dopravy).

Podstatná je **kompatibilita dopravních prostředků a infrastrukturního energetického zázemí** pro jejich provoz z hlediska:

- technického,
- teritoriálního,
- časového.

Koordinace těchto aktivit a s nimi spojených finančních toků je důležitou součástí projektového řízení dekarbonizace dopravy.

Multimodální mobilita

Dosavadní pojetí dopravy, založené jak v oblasti dopravy osob, tak i v oblasti dopravy věcí, na dominantním podílu automobilové dopravy, zajišťované vozidly poháněné spalovacími motory, je již v horizontu nejbližších let neudržitelný:

- doprava patří spotřebou přes 80 TWh/rok největším konečným spotřebitelem energie v ČR,
- spotřeba energie v dopravě vydatně roste (zhruba o 3 % ročně),
- energie pro dopravu je z 93 % tvořena fosilními palivy, importovanými zejména z rizikových zemí,
- doprava produkuje spalováním fosilních paliv 20 mil. tun CO₂/rok, to je více než dvojnásobek oproti průmyslu,
- ztrátové teplo spalovacích motorů dopravních prostředků v úrovni cca 52 TWh/rok násobně převyšuje produkci tepla dodávaného teplárnami svým odběratelům.

Náhradu za současné pojetí dopravy je multimodální udržitelná mobilita. Je založena jak v oboru přepravy osob, tak i v oboru přepravy věcí na výhradním použití elektrických vozidel (prioritně s liniovým elektrickým napájením, doplňkově se zásobníky energie) a jejím základním principem jsou kooperativnost (schopnost spolupracovat) a komplementárnost (schopnost se doplňovat) jednotlivých druhů dopravy:

- v směru **silných a pravidelných přepravních proudů** veřejná hromadná doprava, zejména kolejová a zejména s liniovým elektrickým napájením, neboť se vyznačuje nízkou energetickou a plošnou náročností (avšak vyžaduje vybudování a provozování investičně náročného systému)
- v směru **slabých a nepravidelných přepravních proudů** individuální doprava, zajišťovaná zpravidla elektrickými vozidly se zásobníky energie, neboť ne vyžaduje vybudování a provozování investičně náročného systému (avšak za cenu vyšší energetické i plošné náročnosti).

Každý druh dopravy má logiku používat tam a jenom tam, kde převažují jeho výhody nad nevýhodami.

Role veřejné hromadné dopravy v multimodální mobilitě

Veřejná hromadná doprava, zejména kolejová s liniovým elektrickým napájením, se ve srovnání s individuální automobilovou dopravou vyznačuje řadou pozitivních vlastností:

- nižší energetická náročnost,
- nulové místní emise zdraví škodlivých látek,
- vyšší rentabilita investic do vozidel daná jejich vyšší produktivitou (denní doba využívání cca 14 až 20 hodin),
- vyšší rentabilita investic do vozidel daná jejich vyšším středním obsazením,
- nižší nároky na plochy komunikací pro jízdu,
- odpadá zábor veřejných ploch a exponovaných částech města pro parkování.

Proto má logiku **ve směrech přepravní poptávky zřizovat a provozovat veřejnou hromadnou dopravu**. Ve směrech silných a pravidelných přepravních proudů je veřejná hromadná doprava díky krátkým intervalům mezi spoji pro obyvatelstvo velmi atraktivní. A zároveň je **pro své vysoké zatížení ekonomicky vysoce efektivní**.

Pro společensky prospěšnou motivaci cestujících k preferenci veřejné hromadné dopravy před dopravou individuální **je nutno splnit dvě základní podmínky:**

- **kvalitativní:** veřejná hromadná doprava musí nabízet obyvatelstvu bezpečnost, spolehlivost, dochvilnost, rychlost a pohodlí a tím obyvatelstvo pozitivně motivovat k přirozené preferenci veřejné hromadné dopravy,
- **kvantitativní:** veřejná hromadná doprava musí disponovat dostatečnou přepravní kapacitou, aby dokázala přijmout přepravní poptávku při nesnížené úrovni kultury cestování (i kvantita je součástí kvality)

Fyzikální limity automobilu

Náhrada spalovacích automobilů elektrickými přináší z hlediska energetiky tři benefity:

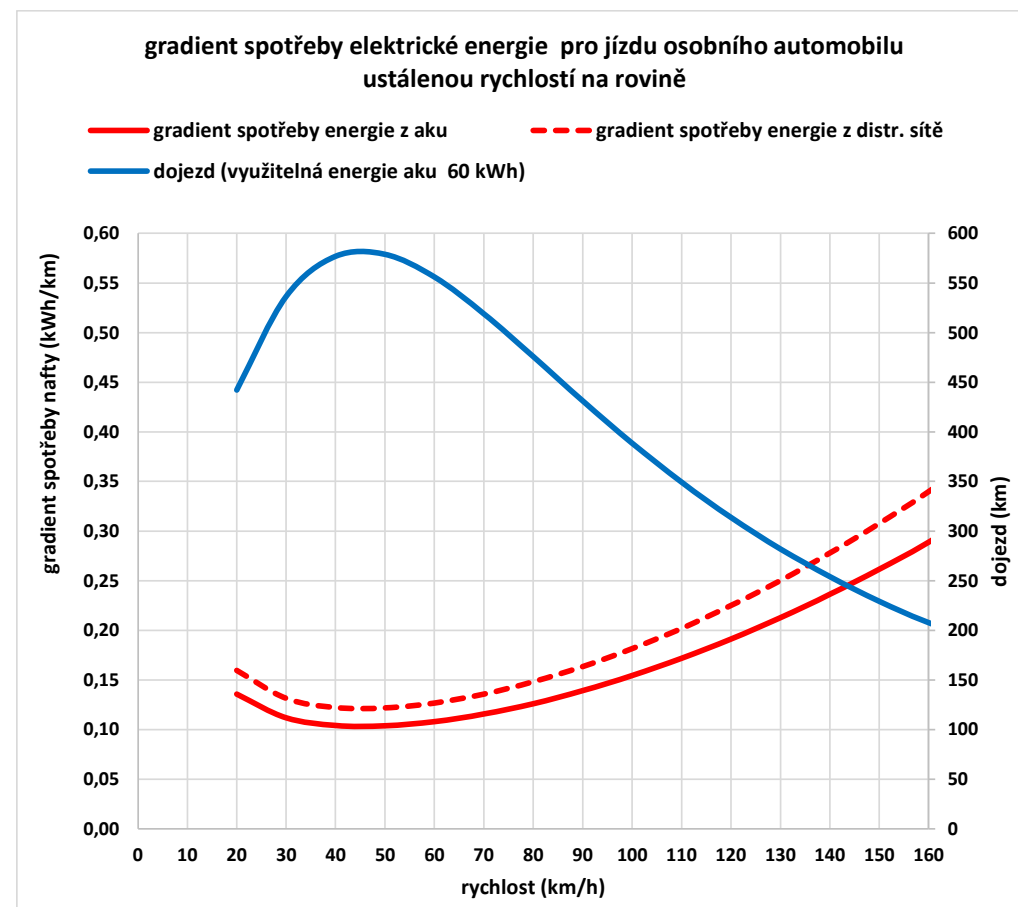
- zásadní (cca 2,5násobné) **zvýšení energetické účinnosti**,
- schopnost **doplňovat zásoby energie kdekoliv, a to i v průběhu parkování**,
- schopnost využívat kinetickou a potenciální energii **k rekuperačnímu zastavovacímu a spádovému brzdění**.

Rekupační brzdění zásadním způsobem **snižuje energetickou náročnost elektrického automobilu** v městském provozu, který je pro praktické použití automobilů typický (v ČR průměru ujede osobní denně 30 km). Běžném provozu osobního automobilu odpovídá **testovací cyklus WLTP se střední cestovní rychlostí 46 km/h**, který byl vytvořen na základě statistických analýz reálného provozu osobních automobilů.

Avšak dva základní systémové energetické nedostatky automobilu, kterými jsou vysoký **valivý odpor pneumatik po vozovce** a vysoký aerodynamický odpor samostatně jedoucích krátkých vozidel výměna pohonu neřeší.

Aerodynamický odpor roste s druhou mocninou rychlosti a spolu s ním roste spotřeba energie potřebná k jeho překonání. To se mimo jiné projevuje i **radikálním poklesem dojezdu při vyšších rychlostech**.

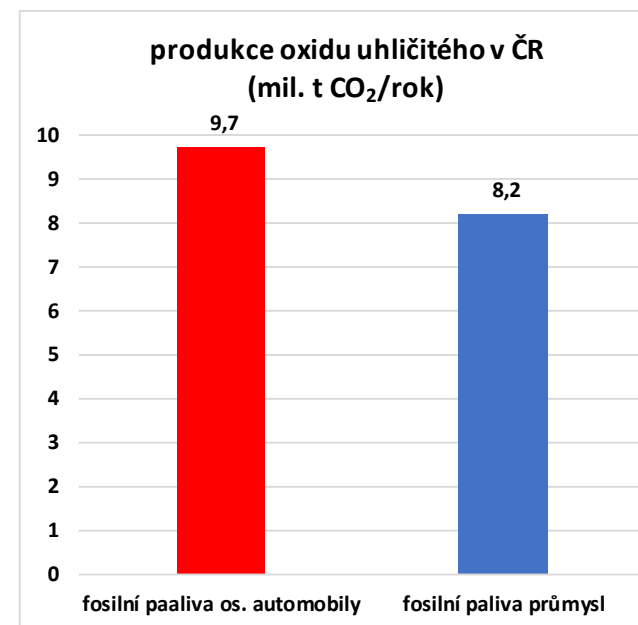
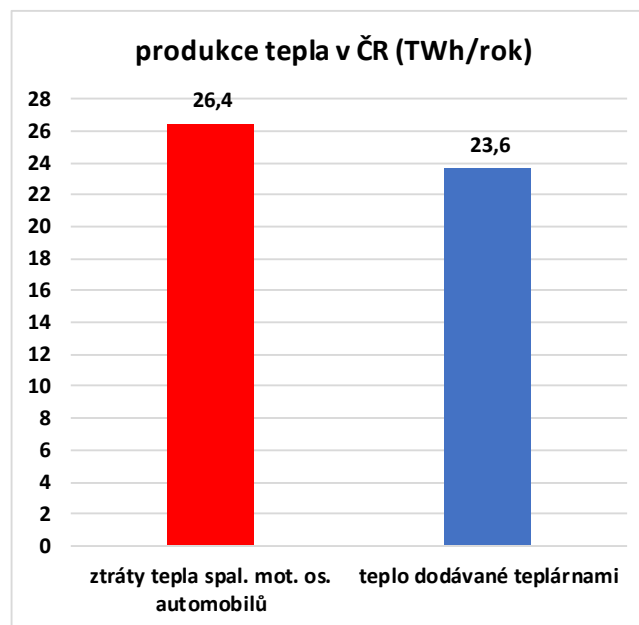
Individuální doprava není fyzikálně vhodná pro rychlé cestování, vozidla pro malý počet osob jsou **příliš krátká a málo štíhlá**, k tomu, aby mohla s rozumnou spotřebou energie jezdit rychle.



Dopravní a energetická bilance individuální osobní automobilové dopravy v ČR

AD - spalovací automobily

stát		ČR
letoopočet	rok	2019
prepravní výkon individuální automobilové dopravy	os km/rok	81 179 000 000
prepravené osoby	os/rok	2 616 569 600
střední přepravní vzdálenost	km	31
střední obsazení automobilu	osob/vůz	1,3
střední přepravní kapacita	míst/vůz	5
střední využití přepravní kapacity automobilů	%	26
rozdovový výkon individuální automobilové dopravy	voz km/rok	62 445 384 615
očet registrovaných automobilů	vozů	5 924 995
střední roční proběh automobilu	km/rok	10 539
střední cestovní rychlost (podle WLTP)	km/h	46,5
střední roční doba využití automobilu	h/rok	227
střední časové využití automobilu k cestování	%	2,6
střední celkové využití automobilu k cestování	%	0,7
střední gradient spotřeby paliva	litr/100 voz km	6,5
výhřevnost paliva	kWh/litr	9,7
střední gradient spotřeby energie	kWh/voz km	0,63
roční spotřeba paliva	litr/rok	4 058 950 000
roční spotřeba energie	kWh/rok	39 371 815 000
střední účinnost spalovacího motoru	%	33
ztrátové teplo spalovacích motorů	kWh/rok	26 379 116 050
střední uhlíková stopa fosilního paliva	kg CO ₂ /kWh	0,26
podíl biopaliv	%	5
střední uhlíková stopa paliva	kg CO ₂ /kWh	0,25
roční produkce oxidu uhličitého	kg CO ₂ /rok	9 724 838 305
roční spotřeba biopaliv	litr/rok	202 947 500
výnosnot pěstování biopaliv	litr/ha/rok	1 100
obestební plocha biopaliv	ha	184 498
obestební plocha biopaliv pro jeden automobil	m ² /vůz	311



Výchozí stav individuální automobilové dopravy v ČR (2019, téměř 100 % spalovací motory):

- spalovací motory osobních automobilů produkují více ztrátového tepla, než činí teplo dodávané teplárnami k vytápění budov,
- spalovací motory osobních automobilů produkují spalováním fosilních paliv více oxidu uhličitého, než průmysl.

Tyto skutečnosti nejsou ekonomicky vnímány, neboť doprava (zatím) nespadá do regulace EU ETS.

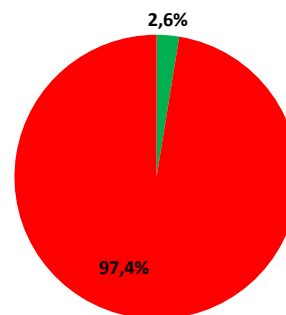
Pracovní režim osobního automobilu v ČR

střední pracovní režim spalovacího automobilu v ČR

ujetá vzdálenost	km/rok	10 539
ujetá vzdálenost	km/den	29
doba provozu	h/rok	227
doba provozu	h/den	0,62
doba provozu	min/den	37
doba parkování	h/rok	8 533
doba parkování	h/den	23,4
střední gradient spotřeby paliva	litr/100 km	6,50
denní spotřeba paliva	litr/den	1,88
roční spotřeba paliva	litr/rok	685
střední gradient spotřeby energie paliva	kWh/km	0,63
denní spotřeba energie paliva	kWh/den	18,2
roční spotřeba energie paliva	kWh/rok	6 645
cena paliva	Kč/kWh	31,00
roční náklady na palivo	Kč/rok	21 237
gradient nákladů na palivo	Kč/km	2,02
gradient produkce oxidu uhličitého	kg/km	0,16
roční produkce oxidu uhličitého	kg/rok	1 641

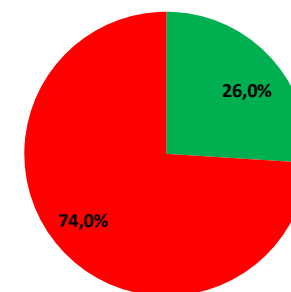
doba využití automobilu

■ provoz ■ parkování



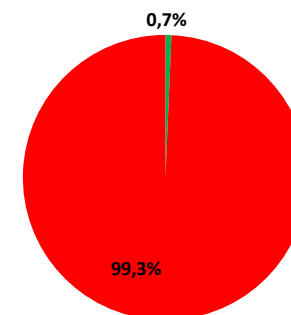
obsazení automobilu

■ obsazená místa ■ volná místa



celkové využití automobilu

■ využito ■ nevyžito



- osobní automobil je v ČR v průměru obsazen 1,3 osobami a denně ujede 29 km.
- v provozu je denně automobil jen 37 minut, zbylých 23 hodin a 23 minut parkuje.
- ⇒ využití investice vložené do osobních automobilů je velmi nízké,
- ⇒ prioritní orientace na veřejnou hromadnou dopravu s řádově vyšším využitím investic.

Levné pomalé nabíjení při parkování

V éře spalovacích automobilů je obvyklé doplňovat pohonné hmoty do automobilů u čerpacích stanic.

V důsledku setrvačnosti myšlení bývá na počátku zavádění elektrických automobilů uvažován podobný způsob i pro doplňování elektrické energie. Avšak jde jen o minoritní alternativu, pro běžné užití automobilu je pro uživatele elektrických automobilů mnohem levnější a pohodlnější **pomalé nabíjení při parkování**. Analogie s **domácím milováním a veřejnými domy** je zcela na místě.

Na rozdíl od doplňování pohonných hmot nevyžaduje nabíjení při parkování jízdu k čerpací a ztrátu času tankováním.

- průměrný automobil parkuje v ČR 23 hodin a 37 minut denně,
- i z obyčejné jednofázové zásuvky 230 V 16 A lze za 8 hodin nízkého nočního tarifu nabít elektrický automobil na jízdu na vzdálenost 140 km. To je téměř pětinasobek středního denního proběhu spalovacích automobilů v ČR,
- pro pokrytí energetické potřeby středního denního proběhu spalovacích automobilů v ČR (29 km/den) stačí 1,6 hodiny nabíjení z obyčejné jednofázové zásuvky 230 V 16 A.

Pro úspěšnou konverzi spalovacích automobilů na elektrické je **vybavení všech parkovacích míst jednofázovými zásuvkami** 230 V 16 A. K této HW části náleží i SW část. Inteligentní spínání odběru s těchto zásuvek na principu internetu věcí (Energetika 4.0).

Virtuální dvojník automobilu se dohodne s virtuálním dvojníkem distribuční sítě i s virtuálním dvojníkem elektráren, kdy má svému majiteli nakoupit elektrickou energii z nejnižší cenu.

Vybudování elektrické přípojky k parkovacímu místu **je řádově levnější, než cena pozemku**, na kterém automobil parkuje.

Bydlení

V ČR aktuálně bydlí zhruba 44 % obyvatelstva **v rodinných domech** (s tendencí růstu). Tito občané mají již zpravidla k dispozici venkovní jednofázovou zásuvku 230 V 16 A, například pro zahradní sekačku trávy, respektive si ji mohou levně pořídit. Nic jiného pro náhradu spalovacího automobilu nepotřebují.

Zároveň mají možnost vybudovat si na střeše svého domu **fotovoltaickou elektrárnu**. Pro výrobu elektrické energie v celoročním úhrnu spotřeby průměrného automobilu v ČR k tomu stačí 11 m² FV panelů (špičkový výkon 2,1 kW).

V ČR aktuálně bydlí zhruba 56 % obyvatelstva **v bytových domech** (s tendencí poklesu). Pro tyto občané mají k dispozici distribuční elektrickou síť, která je schopna zásobovat elektrickou energií nejen jejich byt, ale i jejich opodál stojící zaparkovaný elektrický automobil. Avšak ne současně, nýbrž koordinovaně.

Pokud například spí a přitom nevaří, nežehlí, nesvítlí tak lze **pro jejich byt rezervovaný příkon operativně využít k nabíjení** zaparkovaných automobilů. K tomu je potřebné:

- vybavit všechna parkovací místa venkovními jednofázovými zásuvkami 230 V 16 A, napájenými elektrickou energií dosud určenou pro domovní elektrické rozvaděče bytových domů. S výhodou lze využít nové silné vodiče doplněné do kabelových tras veřejného osvětlení (viz Praha, krycí název „Nabíjení z lamp“),
- SW aplikace internetu věcí (Energetika 4.0) pro automatické in line řízení nabíjení automobilů podle aktuálního stavu spotřeby elektrické energie bytovými domy v dané lokalitě (téma využití možností distribuční sítě) a podle nabídky na straně zdrojů (téma aktuální ceny, působící jako přirozený regulátor bilance zdrojů a spotřebičů).

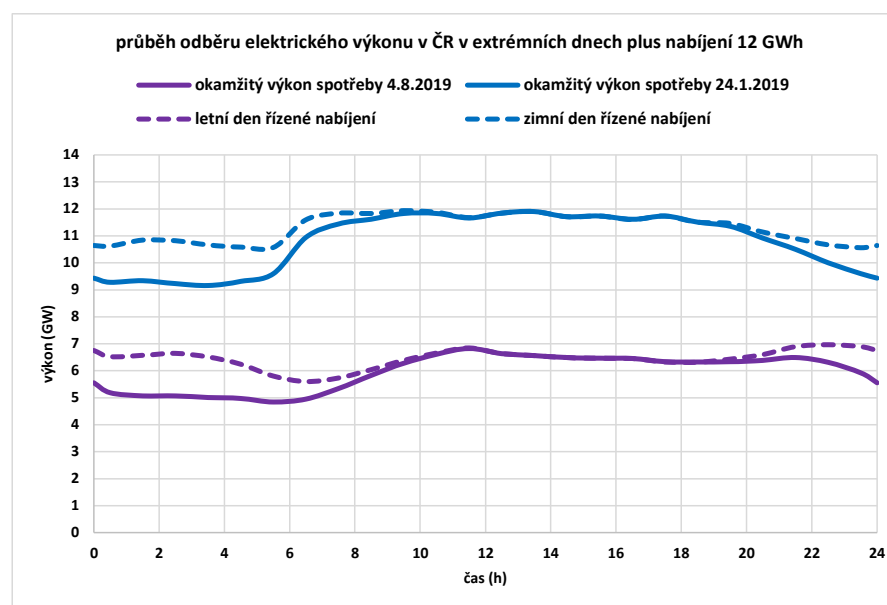
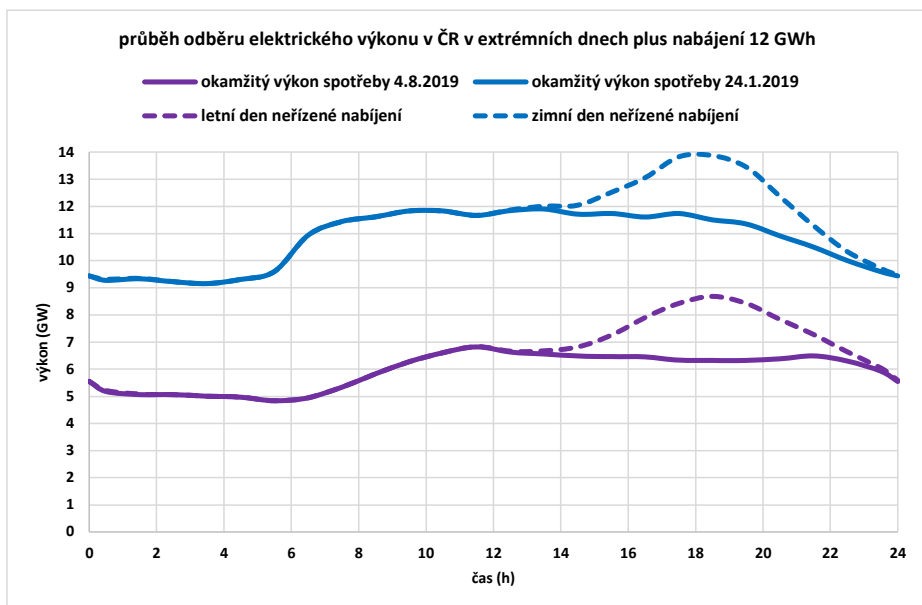
Nabíjení osobních automobilů

Z pohledu minimalizace ztráty času, životnosti akumulátorové baterie, výše platby a hospodárného zatěžování elektrizační soustavy (zdrojů i přenosové a distribuční sítě) je **nejvýhodnější pomalé AC nabíjení při parkování, proto je celosvětově nejvíce používáno (80 až 90 %).**

V ČR registrovaný osobní spalovací automobil je denně využíván 39 minut a ujede 30 km. V témže režimu bude elektrický automobil v průměru denně potřebovat **z distribuční elektrické sítě cca 6 kWh a má k tomu při parkování čas 23 hodin a 21 minut.**

Základem spolupráce automobilu s elektrizační soustavou (centralizovanou či decentralizovanou) je použití internetu věcí k řízení spolupráce automobilů s elektrizační soustavou (smart grids). Vhodným přesunutím začátku nabíjení z období denní špičky do období nočního sedla lze zásadním způsobem snížit požadavek na výkonnost zdrojů.

Níže uvedené obrázky znázorňují řízené a řízené nabíjení 2 000 000 osobních automobilů (12 GWh/den) v ČR. Základním principem je řízení okamžiku připojení nabíjených jednotlivých automobilů k distribuční síti.

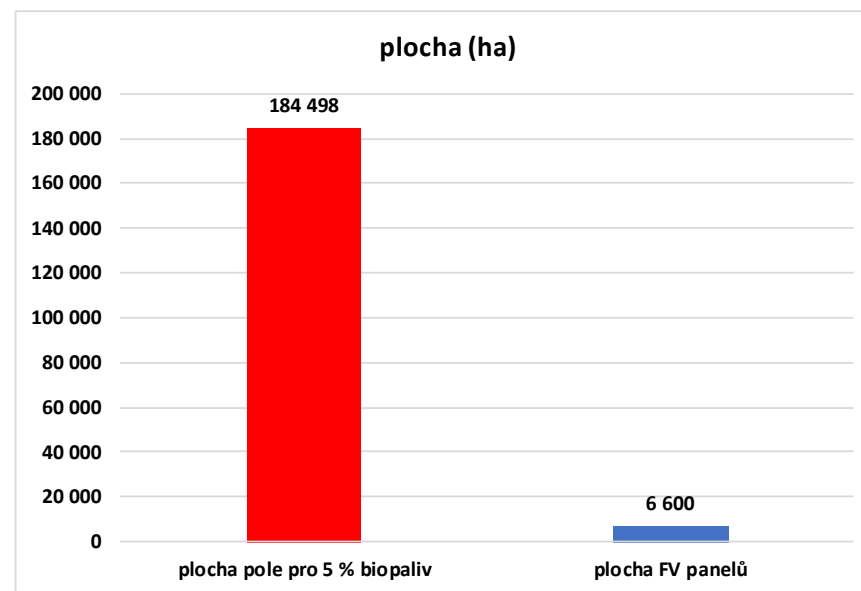


Dopravní a energetická bilance individuální osobní automobilové dopravy v ČR - OZ

IAD - elektrické automobily OZ

stát		ČR
letopočet	rok	2019
přepravní výkon individuální automobilové dopravy	os km/rok	81 179 000 000
přepravené osoby	os/rok	2 616 569 600
střední přepravní vzdálenost	km	31
střední obsazení automobilu	osob/vůz	1,3
střední přepravní kapacita	míst/vůz	5
střední využití přepravní kapacity automobilů	%	26
vozový výkon individuální automobilové dopravy	voz km/rok	62 445 384 615
počet registrovaných automobilů	vozů	5 924 995
střední roční proběh automobilu	km/rok	10 539
střední cestovní rychlost (podle WLTP)	km/h	46,5
střední roční doba využití automobilu	h/rok	227
střední časové využití automobilu k cestování	%	2,6
střední celkové využití automobilu k cestování	%	0,7
střední gradient spotřeby elektrické energie ADAC	kWh/voz km	0,21
roční spotřeba elektrické energie pro IAD	kWh/rok	13 113 530 769
nejvyšší intenzita slunečního záření	W/m ²	1 050
střední roční zatěžovatel	%	12
účinnost FV elektrárny	%	18
potřebná plocha FV panelů	m ²	66 004 339
potřebná plocha FV panelů	ha	6 600
jmenovitý výkon FV elektráren	kW	12 474 820
přihlášené projekty března 2020 MŽP předvýzva RES+	kW	23 941 000
poměr k přihlášeným projektům	%	52

- účinnost FV přeměny slunečního záření na elektřinu (cca 18 %) je zhruba 180 krát vyšší, než účinnost biologické přeměny slunečního záření na uhlovodíková paliva,
 - energetická náročnost elektrického pohonu je zhruba třikrát nižší, než účinnost pohonu spalovacím motorem,
 - účinnost řetězce slunce – pohon kol je zhruba 540 krát vyšší při využití elektrické, než biologické přeměny.
- => pro 100 % elektrické energie stačí 27 krát menší plocha, než pro 5 % přísadu biosložky do fosilních paliv.



Pracovní režim elektrického osobního automobilu v ČR - OZ

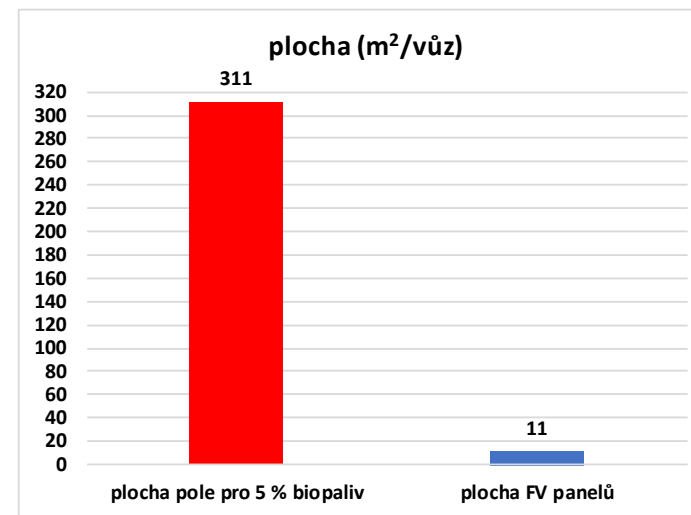
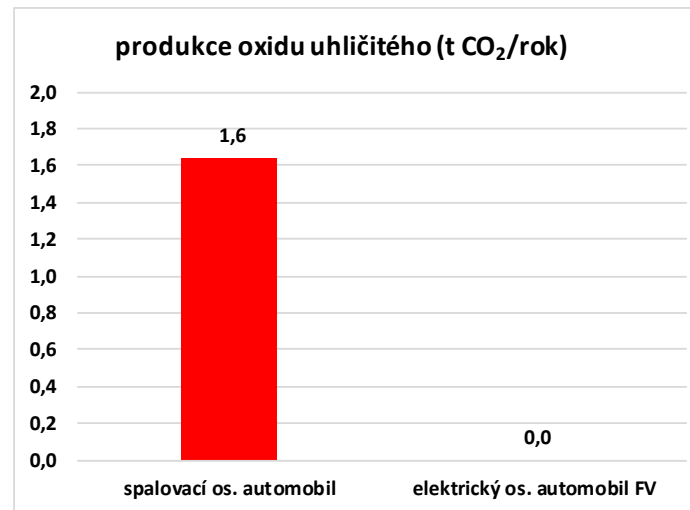
střední pracovní režim elektrického automobilu v ČR OZ

ujetá vzdálenost	km/rok	10 539
ujetá vzdálenost	km/den	29
doba provozu	h/rok	227
doba provozu	h/den	0,62
doba provozu	min/den	37
doba parkování	h/rok	8 533
doba parkování	h/den	23,4
střední gradient spotřeby elektrické energie ADAC	kWh/km	0,21
denní spotřeba elektrické energie	kWh/den	6,1
roční spotřeba elektrické energie	kWh/rok	2 213
nejvyšší intezita slunečního záření	W/m ²	1 050
střední roční zatěžovatel	%	12
učinnost FV elektrárny	%	18
potřebná plocha FV panelů	m ²	11
jmenovitý výkon FV elektrárny	kW	2,1

Pro výrobu elektrické energie v celoročním úhrnu spotřeby průměrného automobilu v ČR k tomu stačí 11 m² FV panelů (špičkový výkon 2,1 kW).

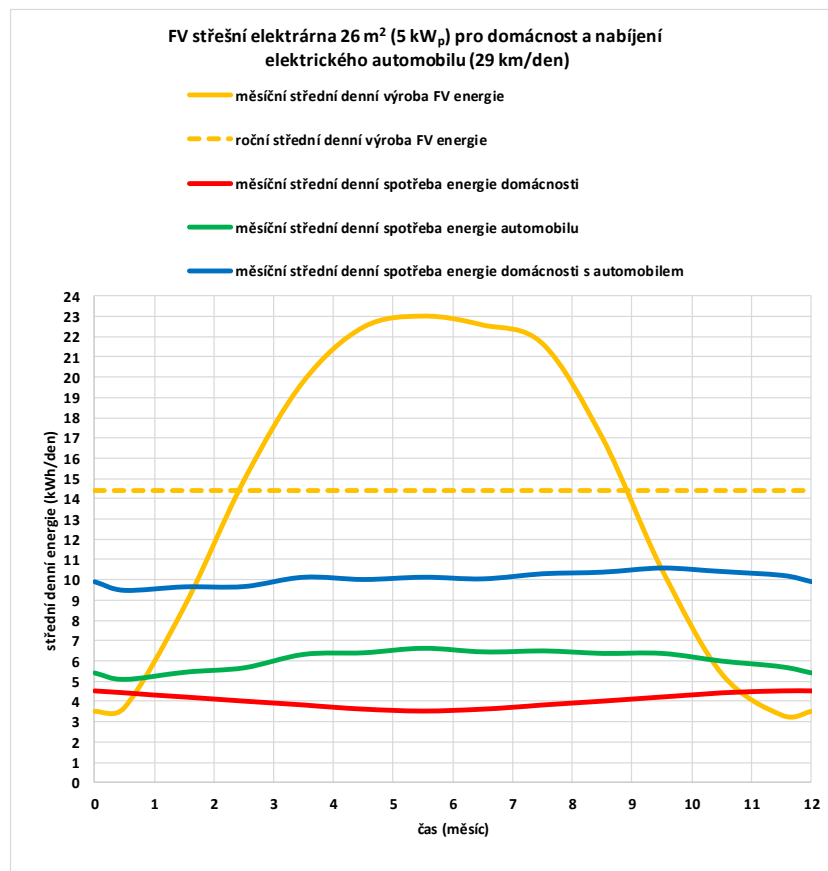
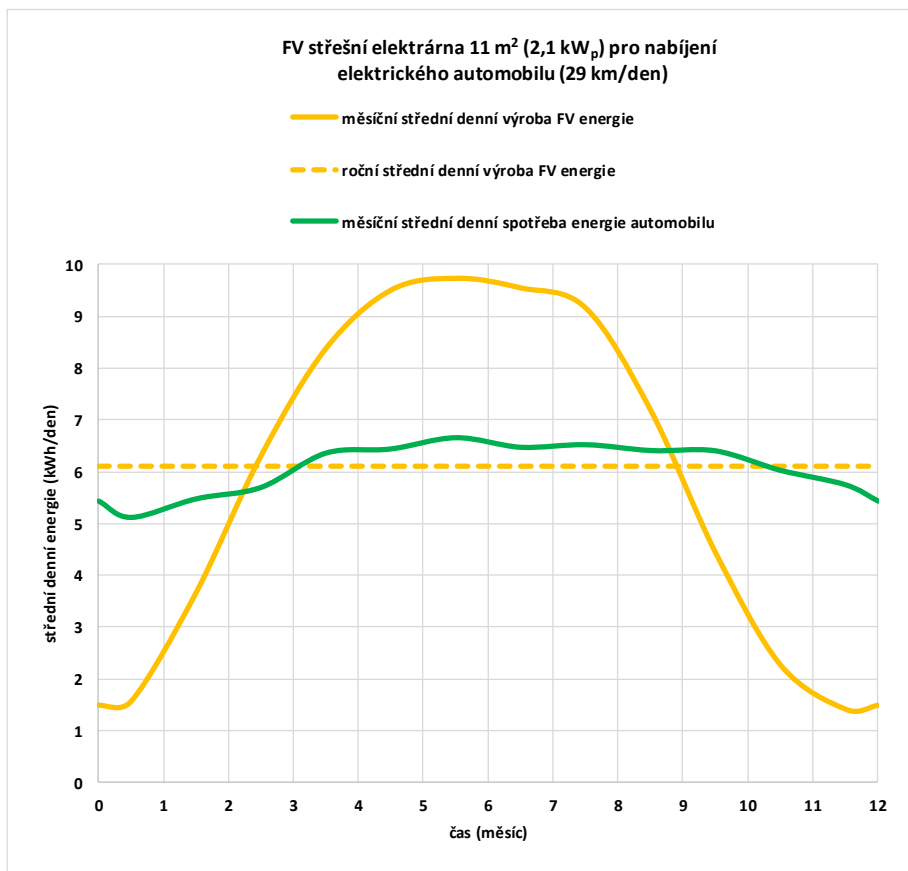
Avšak efektivnější je běžná cca 5 kW domácí FV elektrárna, která s vekou rezervou v celoročním úhrnu pokryje spotřebu nejen spotřebu automobilu, ale i domácnosti. Elektrický automobil doplní stacionární akumulátorové úložiště o další baterii k akumulaci (odlehčení distribuční sítě).

Nízký výkupní tarif dodávek přebytků FV elektřiny do distribuční sítě (kolem 1 Kč/kWh) motivuje obyvatelstvo ke zhodnocení energie vyrobené FV elektrárnou k nabíjení elektrického automobilu.



Domácí FV elektrárny

Při běžném provozu (nájezd desítky km) vyrovná akumulátor elektrického automobilu (dimenzovaný na dojezd ve stovkách km) i několikadenní fluktuace slunečního záření. FV elektrárna 2 kW pokryje běžný provoz automobilu v ČR od března do září. FV elektrárna 5 kW pokryje provoz rodinného domu i běžný provoz automobilu od března do září.



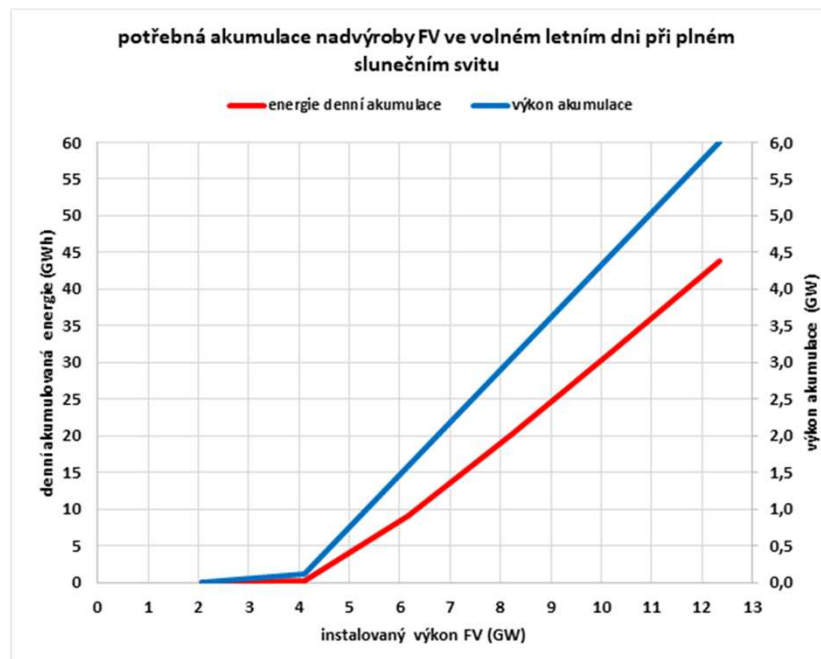
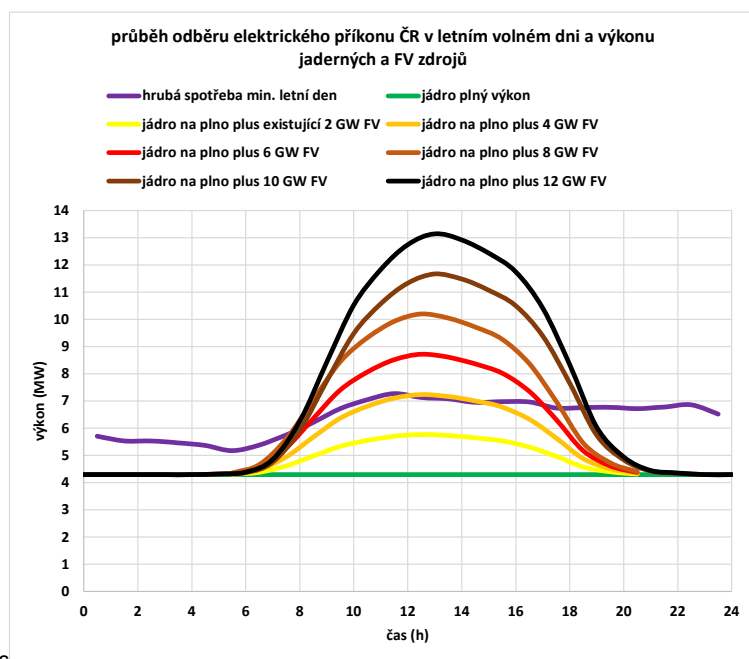
Pokud by z nebe přšel benzín nebo nafta, jistě by lidé stavěli pod okap kbelíky, aby si pár litrů nachytali.

Součinnost elektrických automobilů a FV elektráren

V letních volných dnech činí v ČR výkon odebíraný spotřebiteli z distribuční elektrické sítě cca 7 GW, z toho 4,3 GW pokrývají jaderné elektrárny Dukovany a Temelín, které trvale pracují plným výkonem. Na ostatní zdroje elektřiny zůstávají necelé 3 GW. Zhruba polovinu tohoto výkonu dodávají za slunného počasí fotovoltaické elektrárny.

Po prodlevě 12 let, způsobené chybným zákonem, opět v ČR nastává období intenzivního budování fotovoltaických elektráren. Po zdvojnásobení jejich instalovaného výkonu přesáhne v elektrizační soustavě ČR výkon zdrojů příkon spotřeby, přebytečnou energii bude nutno akumulovat. V roce 2030 v ČR předpokládaný výkon FV zdrojů 10 GW bude v letním období vyžadovat akumulaci s příkonem 4,3 GW a s denní energií 30 GWh. Pro srovnání: PVE Dlouhé Straně má výkon 0,6 GW a energii 3,2 GWh.

Jednou z účinných možností akumulace je nabíjení akumulátorových baterií parkujících vozidel. Nabíjení elektrických automobilů v době činnosti FV elektráren výrazně odlehčuje distribuční elektrickou síť.



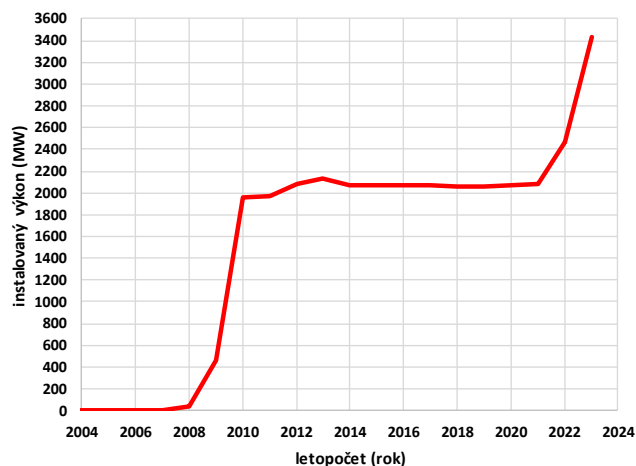
Specifika ČR

Prakticky ve všech zemích světa jsou již dvě desetiletí **kontinuálně budovány obnovitelné zdroje elektrické energie**, zejména fotovoltaické elektrárny a větrné elektrárny. Krok za krokem se lidé **učí, jak se vyrovnat s jejich volatilitou**:

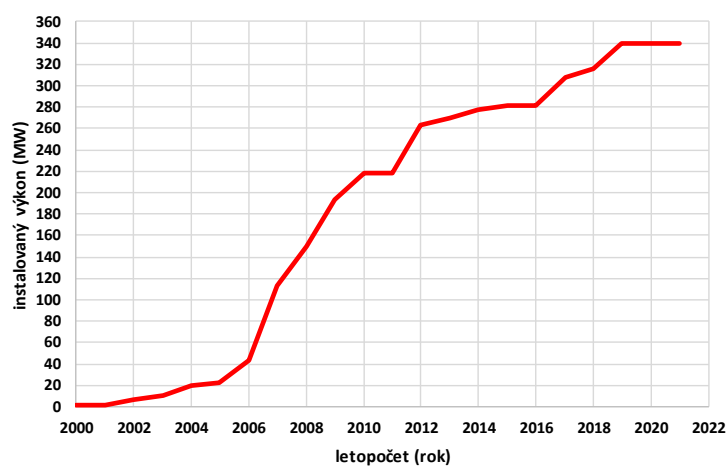
- kombinace (komplementárnost) fotovoltaických a větrných zdrojů,
- akumulace elektrické energie (sekundární elektrochemické články, přečerpávací vodní elektrárny, ...),
- rychlé záložní zdroje (zejména paroplynové se dvěma pracovními cykly – spalovací turbína a parní turbína),
- chytré sítě – inteligentní řízení časově posuvné spotřeby,
- náhrada fosilních automobilů elektrickými (odlehčení distribuční sítě od převisu výroby fotovoltaických elektráren.

Jen ČR je výjimkou: po **chybě poslanců Parlamentu ČR při transpozici směrnice EU do zákona** o podporovaných zdrojích energie došlo v průběhu roku 2010 k extrémně prudkému nárůstu instalovaného výkonu FVE. Následovala **stagnace po dobu 12 let** a nyní opět nastává intenzivní budování – bez koordinace a **bez akumulace**. S obnovitelnými zdroji je potřeba se naučit zacházet, porozumět jim.

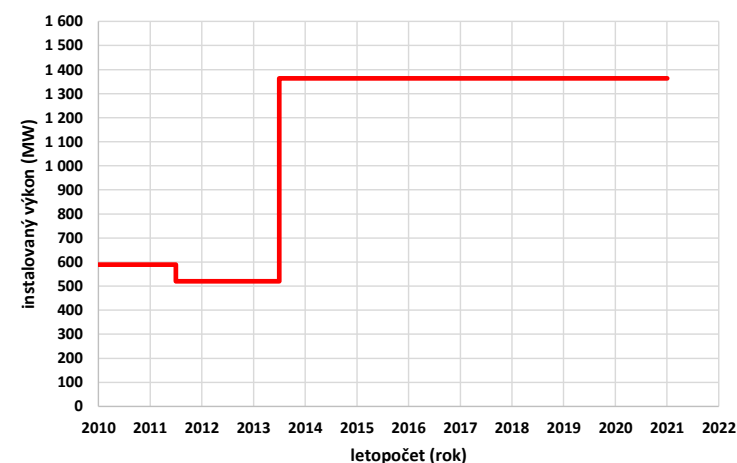
instalovaný výkon FV elektráren v ČR



instalovaný výkon větrných elektráren v ČR



instalovaný výkon paroplynových elektráren v ČR



Koordinace zdrojů (kachní křivky)

S ohledem na nízkou cenu i rychlou a snadnou instalaci dochází k **intenzivnímu budování FV elektráren**. Ve slunných letních dnech pak v poledních a odpoledních hodinách nabídka výkon samotných konstantních zdrojů (jaderné elektrárny) a volatilních zdrojů (zejména fotovoltaické elektrárny) bez uhelných elektráren **přesahuje aktuální spotřebu** distribuční sítě.

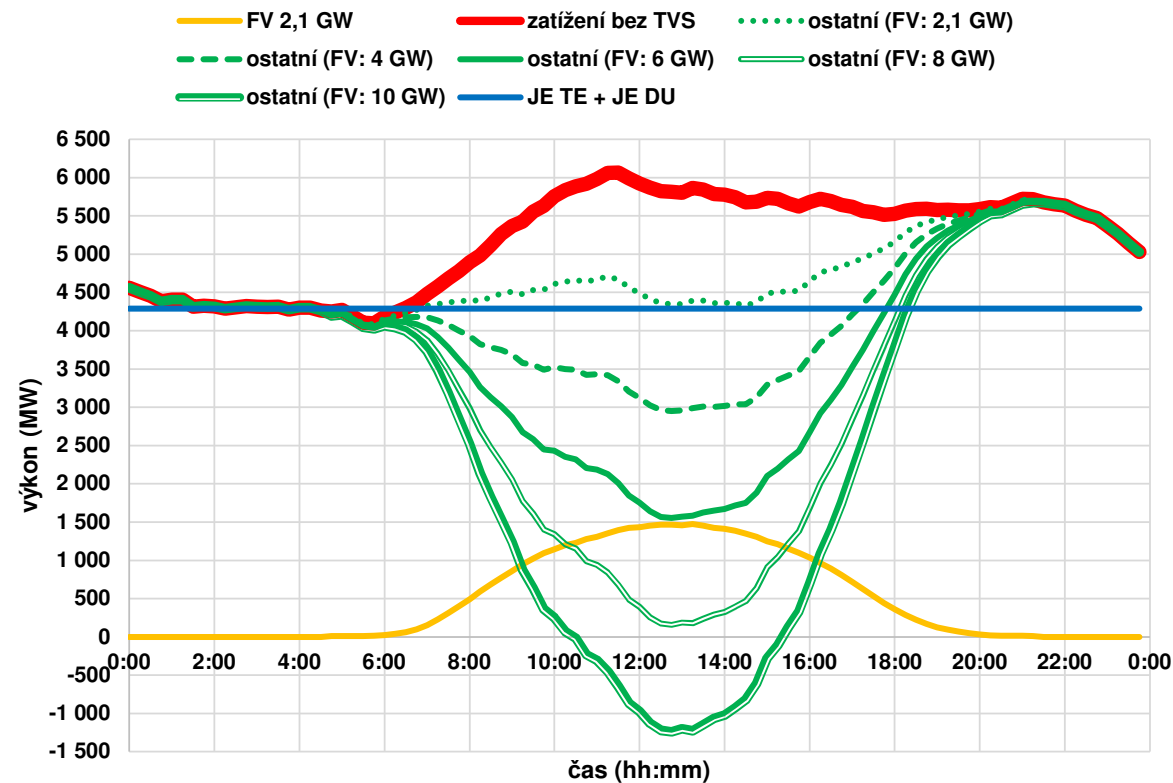
Akumulace není vybudována v náležitě dimenzi (u běžných domovních instalací je dimenzována energie akumulátorové baterie zpravidla jen na cca 2 hodiny plného výkonu FV zdroje) a tak dochází k **převisu nabídky elektrického výkonu nad poptávkou**.

Část zdrojů je nepotřebná, což je pro investory nepříjemné.

Je nutno rozhodnout, **které zdroje budou odstavovány**, zda fotovoltaické nebo jaderné, což má technickou, ekonomickou a právní dimenzi – investice nepřinášejí předpokládaný efekt. Sezónní ukládání letních přebytků elektrické energie z jaderných či fotovoltaických zdrojů do vodíku je teoreticky možné, ale prakticky velmi drahé, nákladově neschopné konkurovat produkci vodíku elektřinou z off shore větrných parků:

- nízké střední roční využití jmenovitého výkonu instalované technologie (elektický zdroj plus elektrolyzátor a kompresor) – u FV jen cca 12 % ve srovnání se 40 % u off shore větrných elektráren,
 - potřeba velkých zásobníků vodíku u FV – roční cyklus ve srovnání s pouhým vyrovnáváním mírnější fluktuace u větrných elektráren.
- Paradoxně pomáhají letní přebytky výkonu řešit problém **chlazení jaderných elektráren** (adaptace na změnu klimatu).

výkonová bilance elektrizační soustavy ČR dne 7. 8. 2022

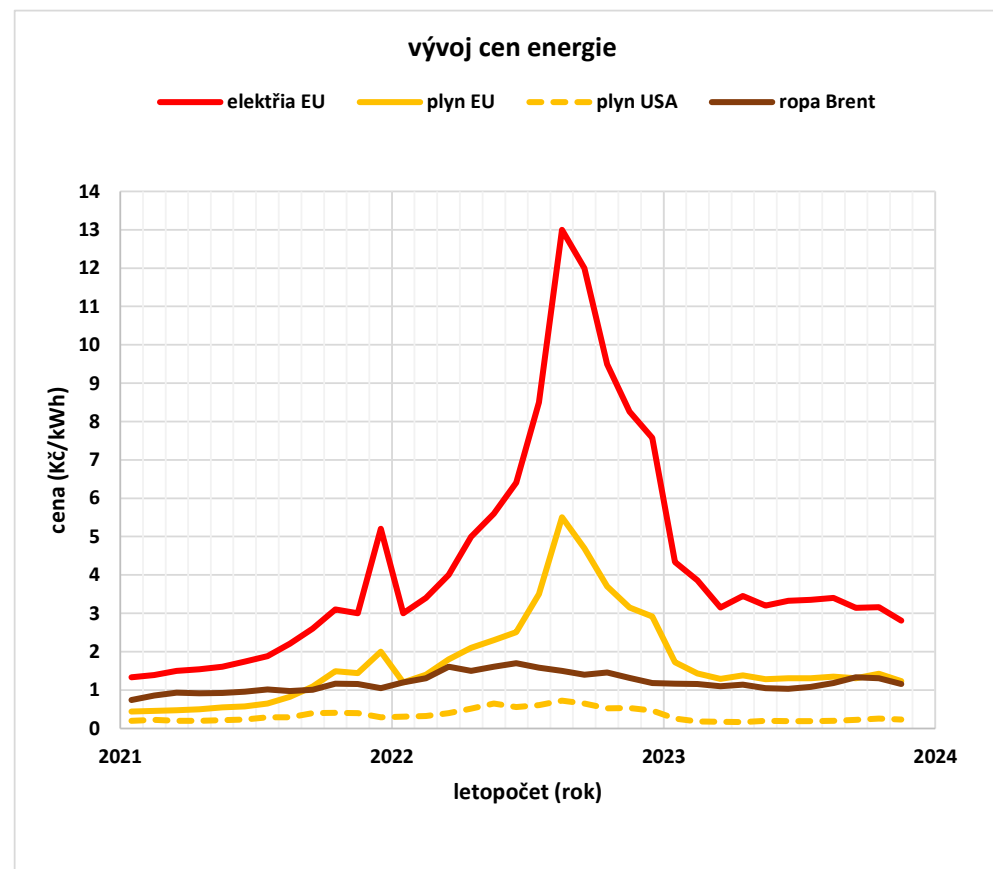
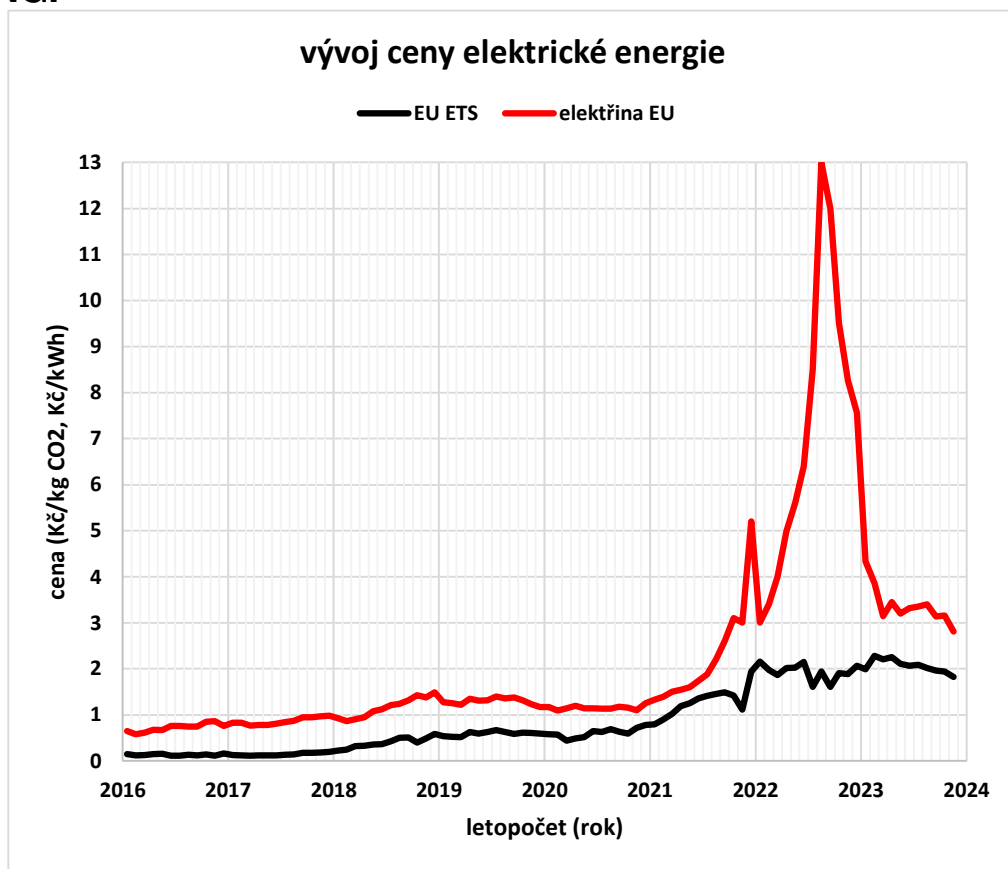


Lze předpokládat, že velmi **nízká cena elektrické energie ve dne od března do října** (převis nabídky nad poptávkou) bude velmi silným motivem k oblibě elektrických automobilů. To je též motivací k **elektrizaci firemních parkovišť**.

Vývoj cen elektrické energie

S výjimkou roku 2022 určují v EU tržní cenu elektrické energie emisní povolenky, které potřebují (jen) uhelné elektrárny.

V roce 2022 určovala v EU tržní cenu elektrické energie cena plynu, které potřebují plynové elektrárny. Epizodu výpadku ruského plnu se rychle podařilo eliminovat dovozem LNG z USA, kde je ve srovnání s EU velmi levný NG.



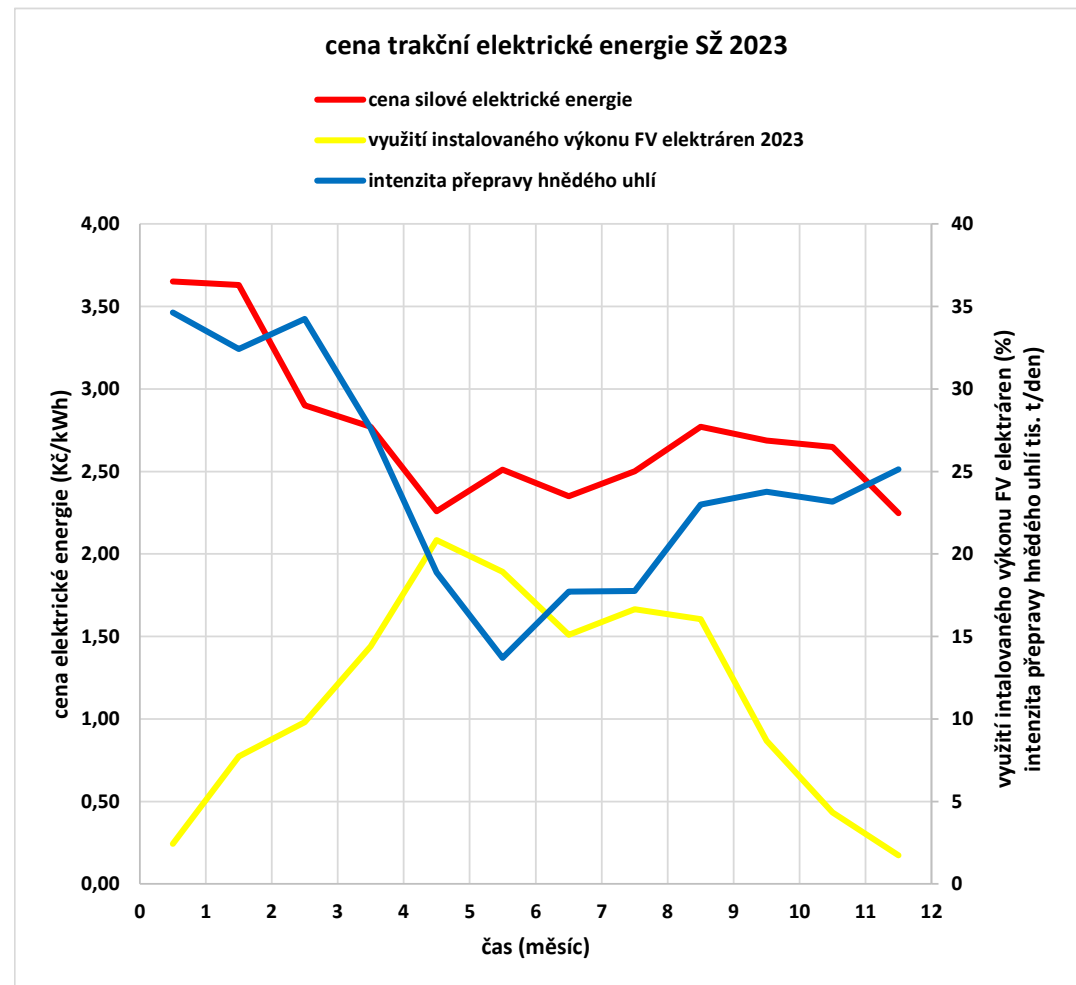
Vývoj cen elektrické energie v roce 2023

Vývoj cen trakční elektrické energie SŽ v průběhu roku 2023 ukázal pozitivní vliv rostoucího podílu obnovitelných zdrojů elektrické energie, zejména fotovoltaikách elektráren, na tržní cenu elektrické energie:

- v zimních měsících, kdy je sluneční svit nízký, určují celý den okamžitou tržní cenu elektrické energie uhelné elektrárny. Cena elektrické energie z uhelných elektráren je dosti vysoká, neboť v sobě zahrnuje náklady na nákup emisních povolenek,
- v letních měsících se v době intenzivního slunečního svitu stávají z hlediska okamžitého výkonu stávající uhelné elektrárny v denní době nepotřebnými a okamžitá tržní cena elektrické ceny ztlačí klesá.

Dvě poznámky k zamyšlení:

- trend poklesu ceny elektrické energie souvisí i s trendem poklesu spotřeby elektrické energie, který je varovným obrazem poklesu produkce průmyslové výroby v průběhu roku 2023,
- s růstem dalších FV instalací bez náležité akumulace přijde již brzy dilema, které nadbytečné zdroje v létě přes den odstavovat – zda jaderné, nebo část FV? Který investor neprodá svou produkci elektrické energie (syndrom letního odpoledne)?

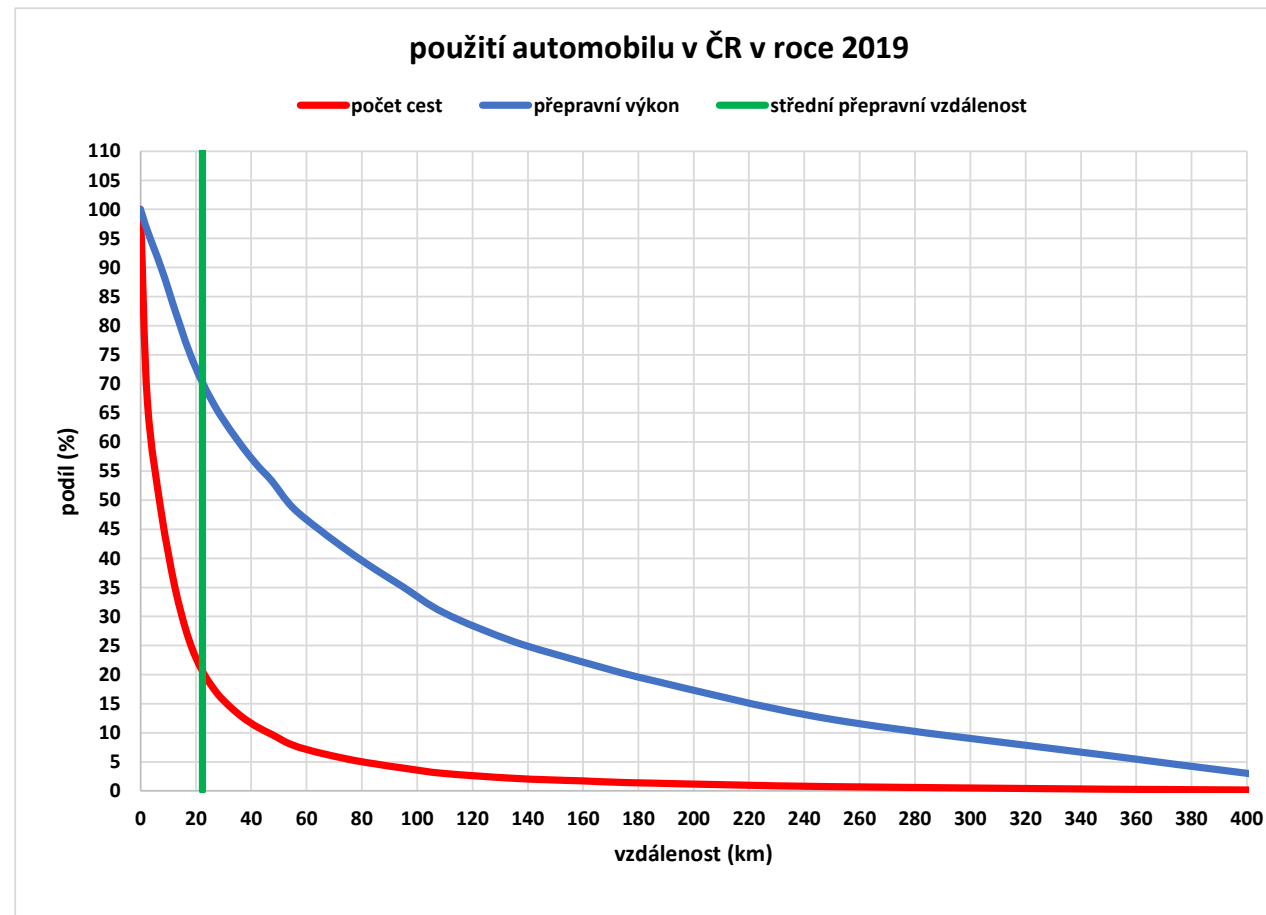


Typické použití osobního automobilu v ČR

Výsledky dopravního průzkumu CDV Brno pro MD ČR (2019) „Česko v pohybu“:

- střední délka cesty automobilem: 22 km
- **podíl cest na vzdálenosti přes 100 km na celkovém počtu cest automobilem: 3,9 %**
- **podíl cest na vzdálenosti přes 200 km na celkovém počtu cest automobilem: 1,3 %**
- podíl cest na vzdálenosti přes 100 km na celkovém přepravním výkonu automobilů (os. km): 35 %
- podíl cest na vzdálenosti přes 200 km na celkovém přepravním výkonu automobilů (os. km): 19 %

Ekonomicky efektivní je přizpůsobit elektrické automobily jejich typickému, nikoli jejich výjimečnému použití.



Nástroje k extramodálním úsporám energie a emisí v osobní dopravě: rychlost a pohodlí

Převod osobní dopravy ze silnic na elektrizované železnice:

- nižší spotřeba energie,
- zásadní snížení exhalací oxidu uhličitého, způsobujících klimatické změny,
- úplné odstranění exhalací poškozujících zdraví obyvatelstva,
- aktivní využití času stráveného cestováním (train office)

Podmínka: rychlost a kvalita => **rychlostí a pohodlím k úsporám energie**

Příklad:

Firma posílá **jednou týdně jednoho pracovníka z Prahy do Brna** automobilem. Na jednu služební cestu tam a zpět spotřebuje 24 litrů paliva, tedy **240 kWh** energie, a vytvoří **64 kg CO₂**.

Tatáž cesta moderním vlakem reprezentuje při 50 % obsazení spotřebu elektrické energie **25 kWh**, což je ekvivalent spotřeby 2,5 litru nafty, a produkci **11 kg CO₂**.

Roční úspora (48 cest):

- $48 \times (240 - 25) = 10\ 300$ kWh energie
- $48 \times (64 - 11) = 2\ 500$ kg CO₂

K vytvoření stejné úspory 2,5 t CO₂/rok by firma musela za svého pracovníka vysázet 0,37 ha nového lesa.



ČR: úspěch koridorů - modernizované tratě a nová vozidla

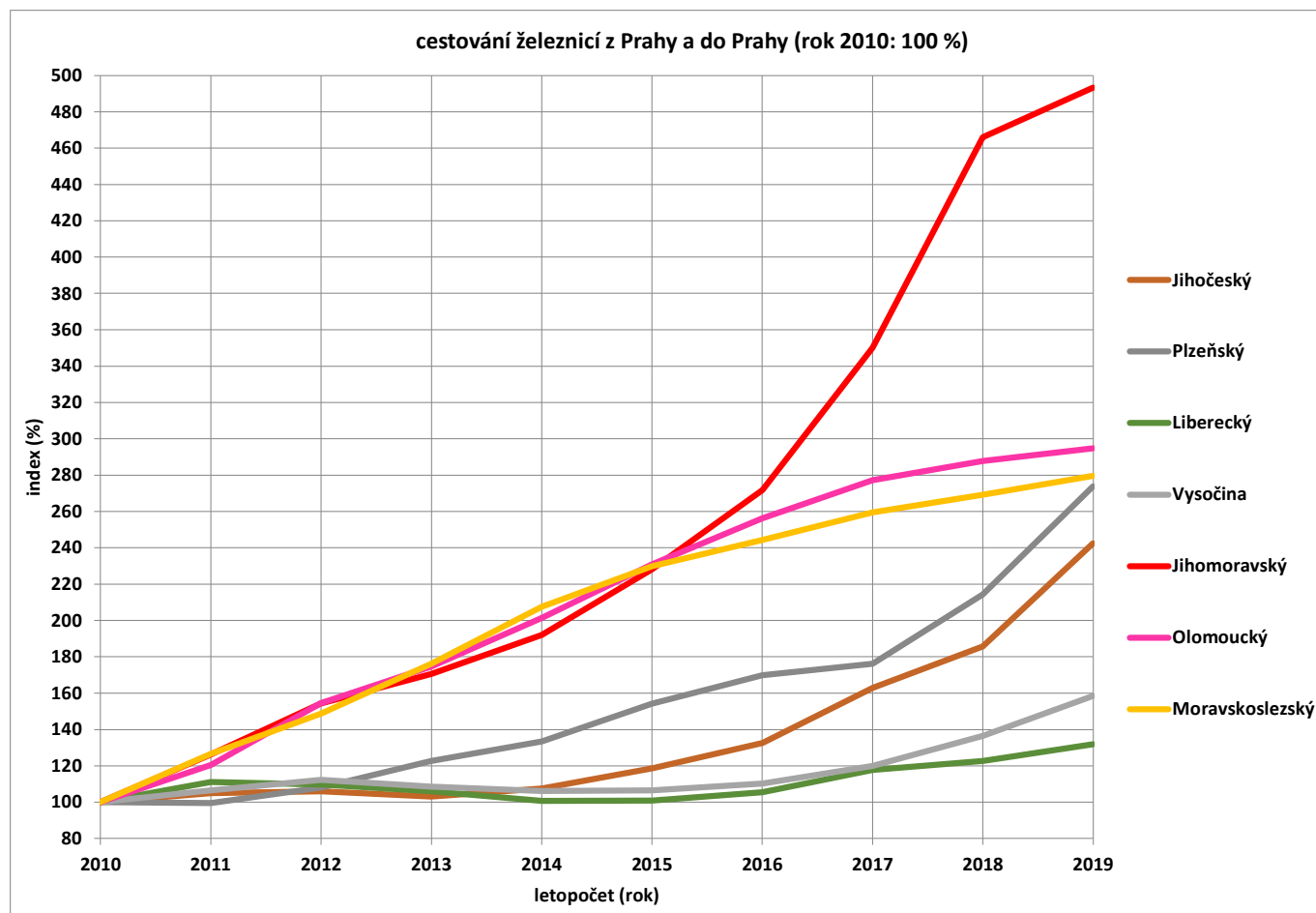
Generátorem růstu přepravních výkonů železniční osobní dopravy je **dálková doprava**. Střední přepravní vzdálenost železnicí vzrostla mezi roky 2010n a 2019 ze 44 km na 56 km.

Modernizované tratě, taktový jízdní řád a nová vozidla zvýšily **atraktivitu přepravní nabídky** dálkové železniční dopravy.

Nastal intenzivní rozvoj dálkové železniční dopravy mezi Prahou a kraji (přeprava cestujících vzrostla mezi roky 2010 a 2019 na 209 %, přepravní výkony vzrostly v průběhu 9 let v průměru na 241 %).

Mezistátní osobní železniční přeprava narostla v průběhu 7 let 2010 až 2019 v ČR na šestinásobek.

Po odeznění pandemie Covid 19, která vedla v letech 2020 a 2021 k poklesu zájmu o cestování, došlo v roce 2022 k opětovnému oživení přepravní poptávky. Nové kapacity na straně tratí i vozidel jsou nutností.



Vysokorychlostní železnice

Pěšky – chůze rychlostí 5 km/h: spotřeba 8 kWh/100 km (příkon potravy 400 W)

Automobil – jízda rychlostí 130 km/h: spotřeba 50 kWh/osobu/100 km

Konvenční železnice – jízda rychlostí 160 km/h: spotřeba 5 kWh/osobu/100 km

Vysokorychlostní železnice – jízda rychlostí 300 km/h: spotřeba 9 kWh/osobu/100 km

Letadlo – let rychlostí 900/300 km/h: spotřeba 40 kWh/osobu/100 km



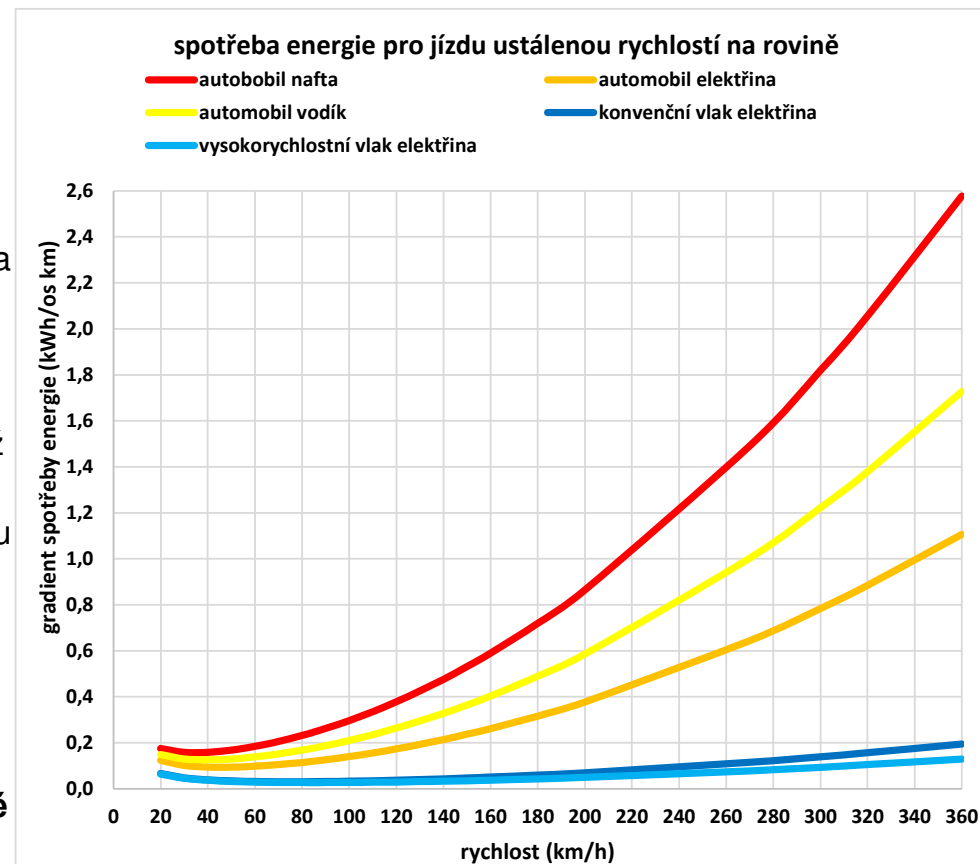
Vlakem rychle na větší vzdálenosti, automobilem první a poslední míli

Pro cestování mezi městy vzdálenými ve stovkách kilometrů je **automobil příliš pomalý, jízda rychlostí nejvýše 120 až 150 km/h vede k velmi dlouhé a únavné době cesty**. A to bez produktivního využití času, neboť při běžném obsazení automobilu 1,3 osobami je 77 % cestujících zaměstnáno řízením.

K vytvoření funkční polycentrické struktury osídlení je potřeba, aby při jednodenních pracovních či volnočasových návštěvách měst vzdálených 300 km až 600 km nebyla doba strávená jízdou tam a zpět delší, než vlastní pobyt v navštíveném městě. K tomu **je nutná rychlost jízdy alespoň 200 až 300 km/h**.

Jak z bezpečnostních důvodů (automobily jsou řízeny manuálně a většinou neprofesními řidiči), tak z energetických důvodů je automobil k jízdě rychlostí 200 až 300 km/h v praxi nepoužitelný. Automobil je málo štíhlý a je příliš krátký, jeho aerodynamický odpor (úměrný druhé mocnině rychlosti jízdy) je ve vztahu k nízkému počtu přepravovaných osob neakceptovatelně vysoký, spotřeba energie by byla extrémně vysoká.

Díky dlouhým aerodynamicky výhodným tvarům železničních vozidel jedoucím v těsném zákrytu (tvořících vlak), vysoké účinnosti elektrického trakčního pohonu a vyššímu střednímu obsazení a malému odporu valení dosahují vysokorychlostní železniční elektrické trakční jednotky **při jízdě rychlostmi kolem 300 km/h výrazně nižší spotřebu energie na přepravenou osobu než osobní automobily** jedoucí rychlostí jen 120 až 150 km/h.



Budování vysokorychlostního železničního systému

- Potenciál přínosů vysokorychlostního železničního systému :
- nové rychlé dopravní spojení s městy v ČR i v zahraničí,
 - nová kapacita železničních tratí,
 - rychlostní segregace – odkloněním dálkových vlaků z konvenčních na vysokorychlostní tratě vzniká na konvenčních tratích větší prostor pro regionální a nákladní dopravu.

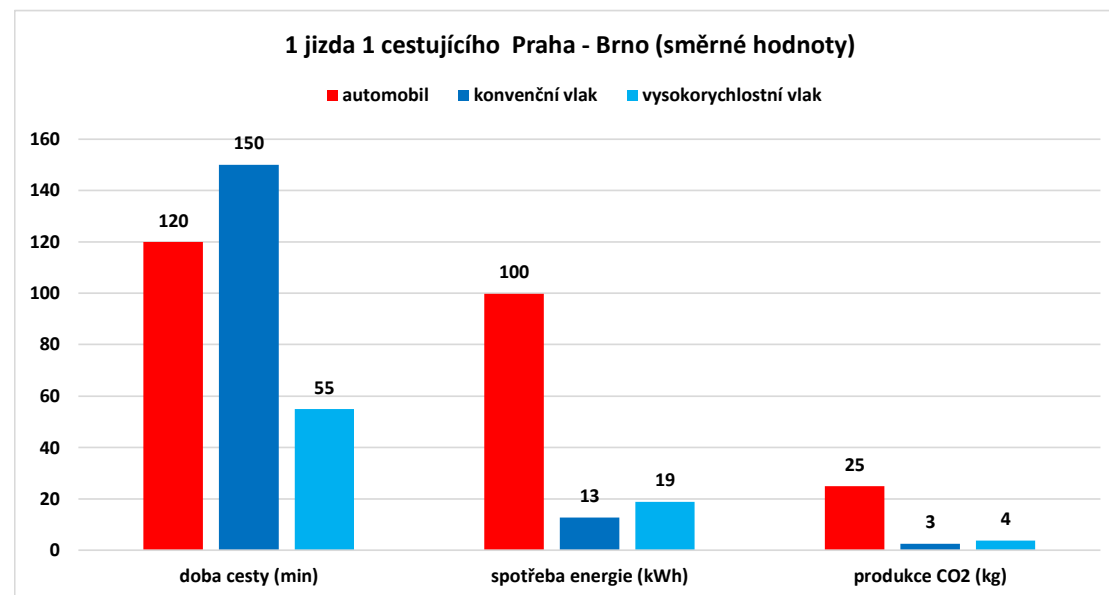


Vysokorychlostní železnice Praha – Brno (- Wien / Bratislava – Budapest)

Není důvod ztrácet čas (2 hodiny) a energii (**100 kWh** při produkci **25 kg CO₂** na osobu při středním obsazení 1,3 osoby na vůz) jízdou automobilem s rychlostí 130 km/h z Prahy do Brna.

Vysokorychlostní vlak to zvládne s rychlostí 300 km/h za **55 minut (centrum – centrum)**, respektive za **45 minut** (terminál P + CH + R Nehvizdy – terminál P + CH + R Vídeňská) **k práci využitelného času (train office)**.

Při 50 % obsazení spotřebuje na osobu jen **19 kWh** energie s produkcí **4 kg CO₂** (perspektivně z OZE: 0 kg CO₂).



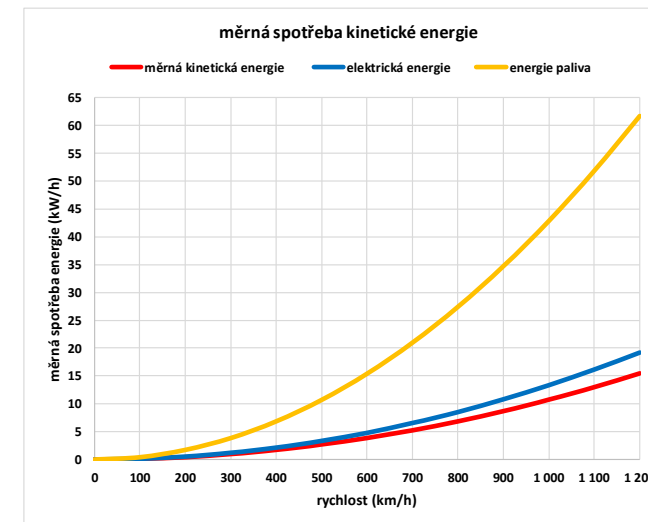
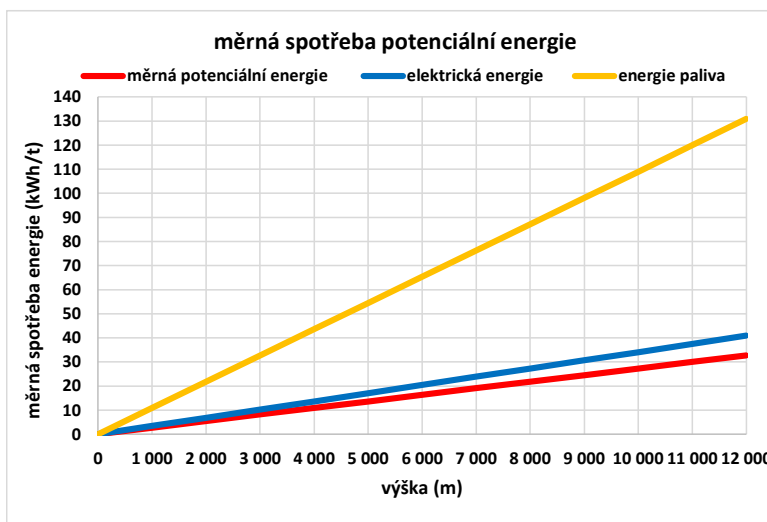
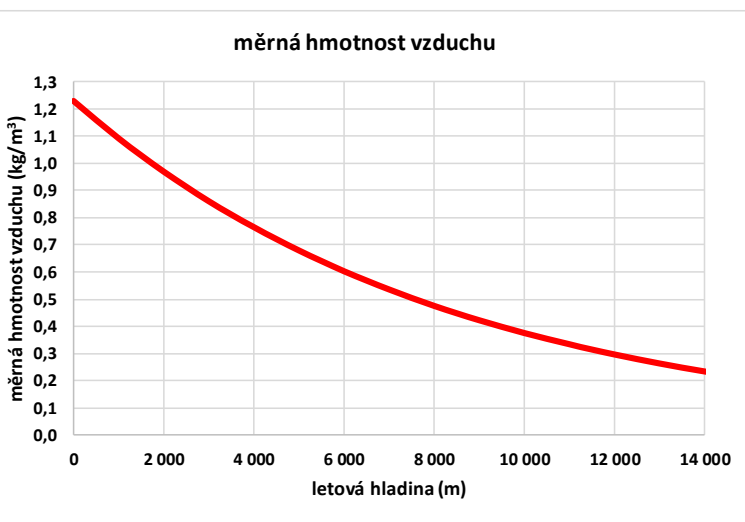
Energetická náročnost letecké dopravy

K docílení výhodných aerodynamických podmínek letu je potřeba po startu zvednout letadlo do výšky cca 12 km, kde je měrná hmotnost a tedy i odpor vzduchu čtyřikrát nižší než nad povrchem Země ($0,3 \text{ kg/m}^3$ proti $1,2 \text{ kg/m}^3$). To však vyžaduje **vytvořit potenciální energii** 33 kWh na 1 t hmotnosti letadla, tepelný letecký motor při tom spotřebuje cca 130 kWh energie paliva na 1 t.

Nízká měrná hmotnost vzduchu se sebou nese kromě žádoucího poklesu odporu vzduchu na jednu čtvrtinu i nechtěný pokles vztlakové síly působící na křídla letadla. Pro udržení letadla v této výšce proto musí letadlo letět dostatečně rychle, zhruba rychlostí 900 km/h. Po startu je proto nutno letadlo urychlit na rychlost cca 900 km/h, což vyžaduje **vytvořit kinetickou energii** 9 kWh na 1 t hmotnosti letadla. Tepelný letecký motor při tom spotřebuje cca 35 kWh energie paliva na 1 t hmotnosti letadla.

V součtu je k vytvoření podmínek letu potřebná spotřeba energie $35 + 130 = 165 \text{ kWh}$ energie paliva na 1 t hmotnosti letadla.

Energie 165 kWh/t stačí **vysokorychlostnímu vlaku jedoucího rychlostí 300 km/h k dopravě na vzdálenost cca 3 600 km.**



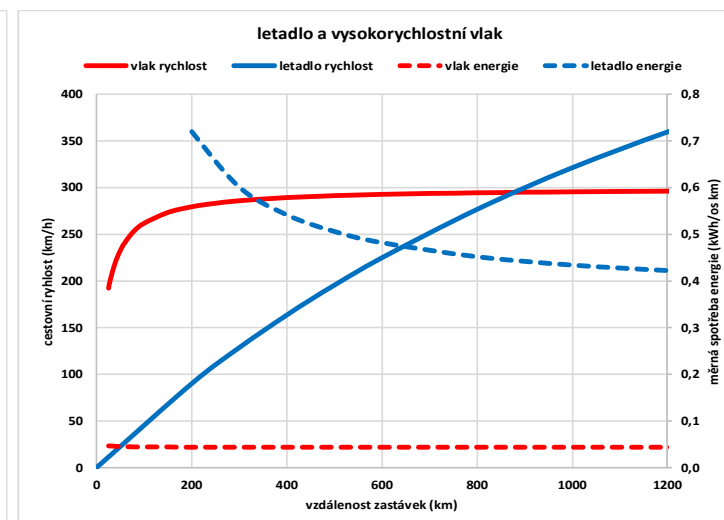
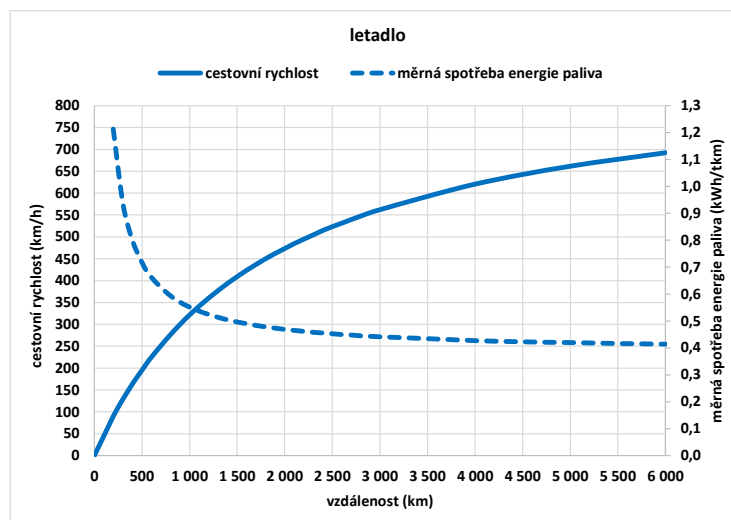
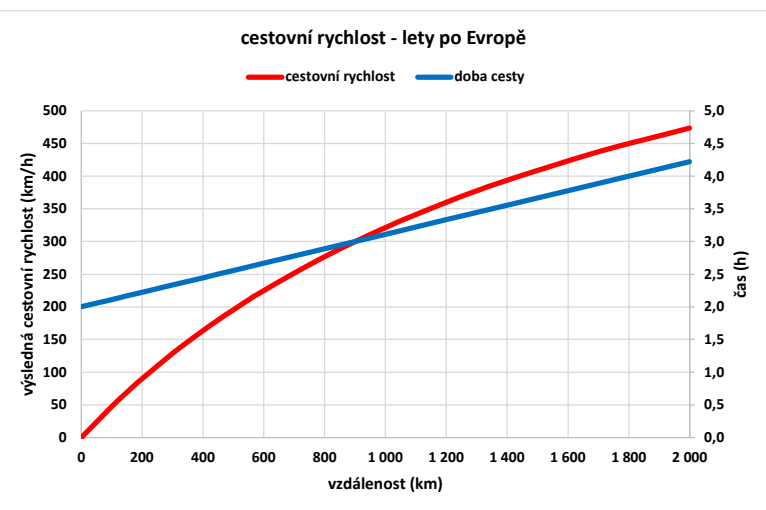
Letadlem na tisíce kilometrů, vlakem na stovky kilometrů

Cestování letadlem je spojeno se **základní ztrátou času** (cesta na letiště, procesy před odletem, procesy po přeletu, cesta z letiště).

Při **dálkových (zaoceánských) letech** na vzdálenosti několika tisících km se základní ztráta času podílí na celkové spotřebě času jen nevýrazně, převládá dlouhá doba letu. Proto je i výsledná cestovní rychlost letecké přepravy vysoká, blízká rychlosti letu 900 km/h.

Při **krátkých letech nad pevninou** (po Evropě) na vzdálenosti několika set km se základní ztráta času podílí na celkové spotřebě času **velmi výrazně, převyšují vlastní dobu letu**. Proto je i **výsledná cestovní rychlost letecké přepravy dost nízká (kolem 300 km/h)**, je jen zlomkem rychlosti letu 900 km/h.

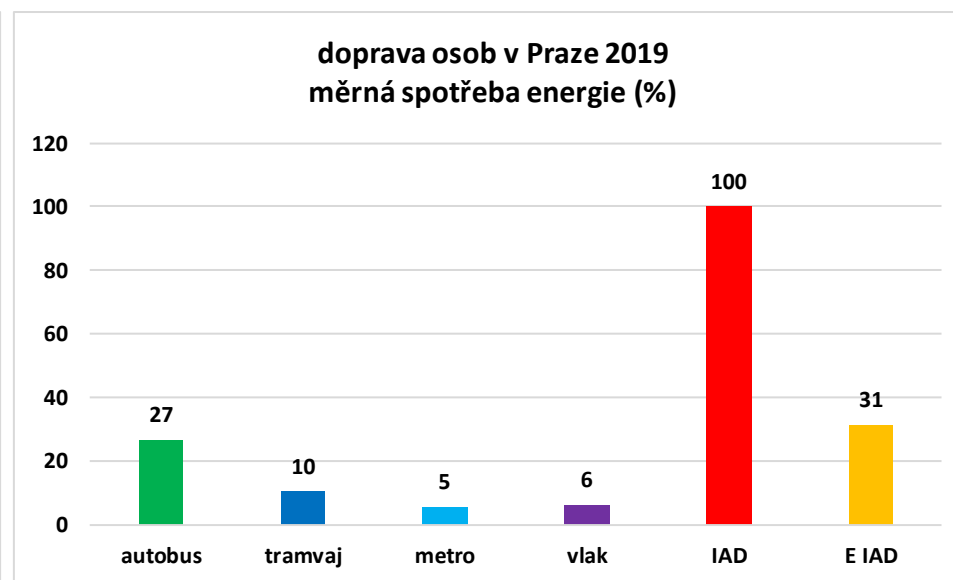
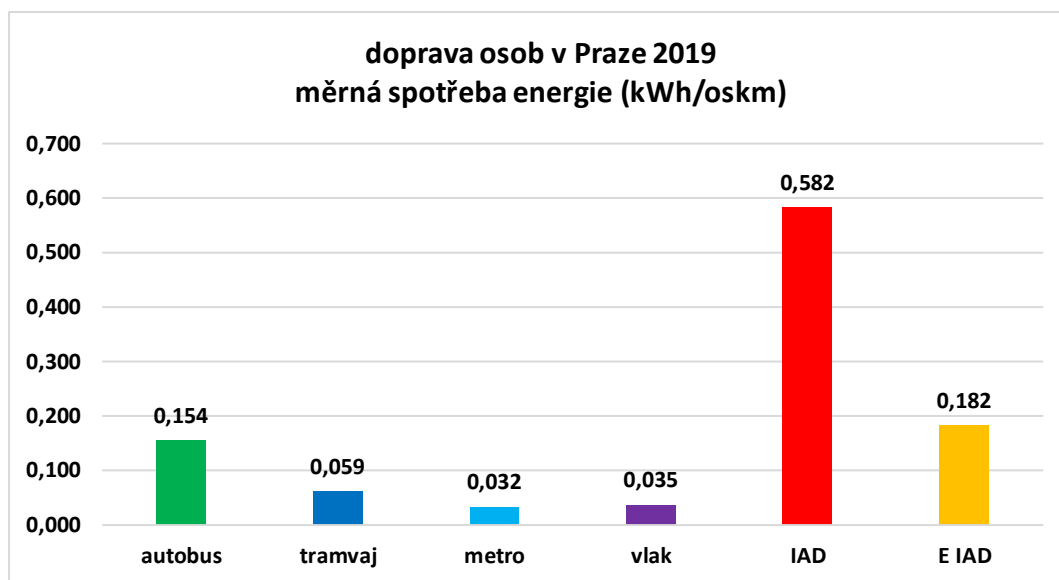
Jak hlediska spotřeby energie, tak i z hlediska spotřeby času se **letadlo jeví vhodné na dálkové (zaoceánské) lety** na vzdálenosti několika tisíc km, to je oblast optimální aplikace letecké dopravy. Letadlo není nevhodné pro krátké lety nad pevninou, na vzdálenosti několika set km, to je oblast optimální aplikace rychlé železniční dopravy.



Doprava osob v Praze – skutečnost roku 2019 (1)

Na přepravních výkonech dopravy osob v Praze se přibližně rovným dílem (50 % a 50 %) podílí veřejná hromadná doprava a individuální automobilová doprava.

Energeticky je veřejná hromadná doprava velmi efektivní – na celkové spotřebě energie pro dopravu osob se podílí jen 11 %, zatím co individuální automobilová doprava 89 %.

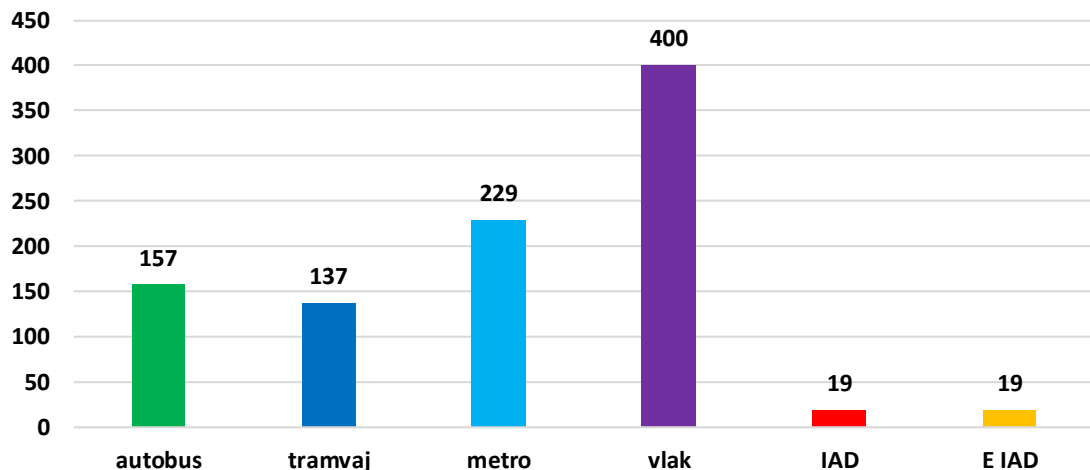


Doprava osob v Praze – skutečnost roku 2019 (2)

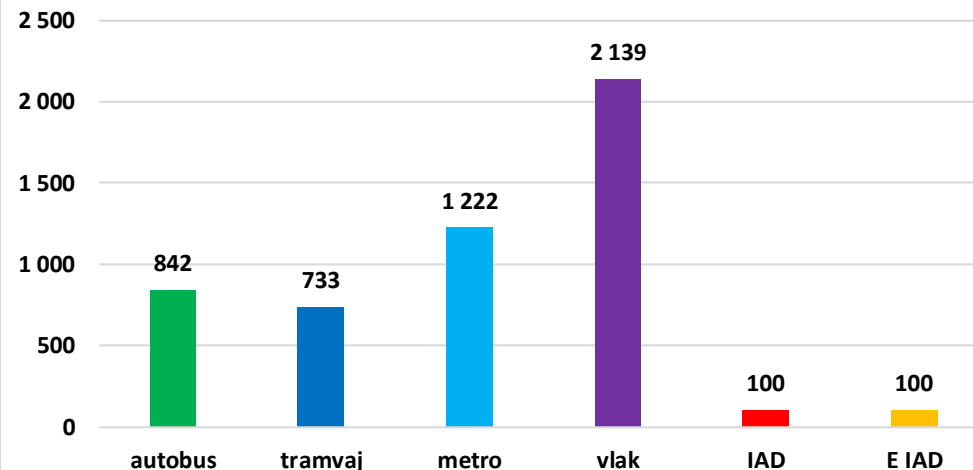
Efektivnost investic do pořízení osobních automobilů je velmi nízká, v průměru připadá na jeden v Praze registrovaný automobil denní proběh všech (i mimopražských) osobních automobilů po pražských ulicích jen 19 km. Téměř celý den někde parkují.

Využití vozidel veřejné hromadné dopravy je řádově vyšší. Proto má logiku podpořit zavádění moderních bezemisních vozidel zejména v oboru veřejné dopravy, neboť jsou mnohem více využívána než individuálně vlastněná vozidla a tedy přinášejí vyšší úsporu energie a emisí.

doprava osob v Praze 2019
využití investic do vozidel (km/den)



doprava osob v Praze 2019
využití investic do vozidel (%)



Náhrada vlastnictví službou

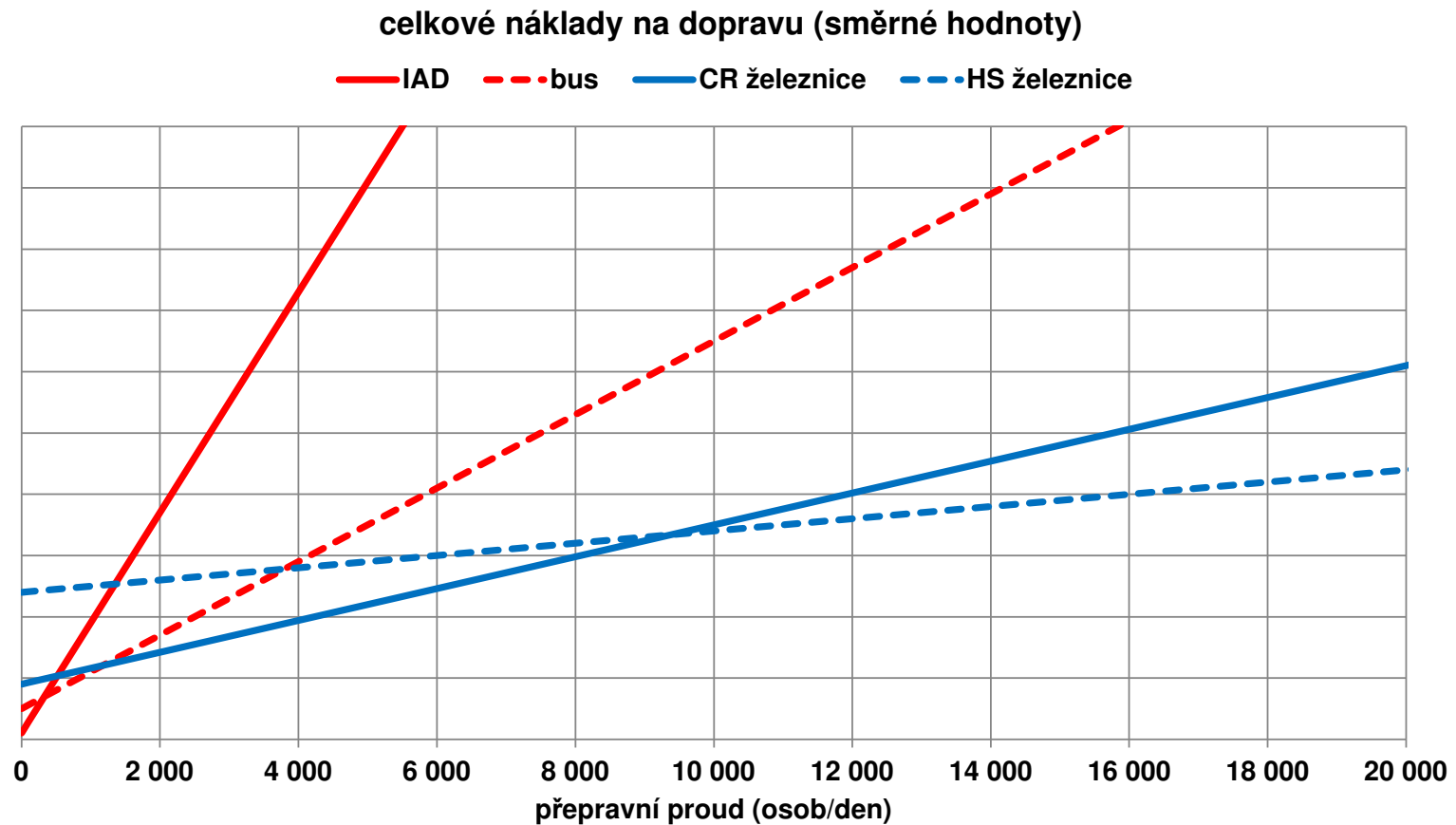
Cílem je ve smyslu Aristotelova principu (**bohatství není ve vlastnictví, ale v užití**) nahradit dopravu založenou na vlastnictví neefektivně využitých dopravních prostředků (osobní automobil je v ČR využit 2,6 % času při 26 % využití jeho kapacity v součinu na 0,7 %) dopravou v podobě funkční služby (MaaS – Mobility as a Service), jednou z mnoha aplikací na mobilním telefonu.

Již úspěšně zvládnutá náhrada amatérského chovu slepic profesionální službou v podobě centralizace výroby vajec a distribuce obchodu s vejci je dokladem funkčnosti a spontánnosti trendu náhrady vlastnictví službou. Základní motivací k této proměně mobility je přechod na čtyřdenní pracovní týden.

Náhrada potřeby investovat s periodou deseti let roční mzdu do nákupu automobilu dopravou jako službou v podobě multimodální mobility umožní lidem o 10 % méně pracovat, mít každý druhý pátek pro sebe a pro svou rodinu.



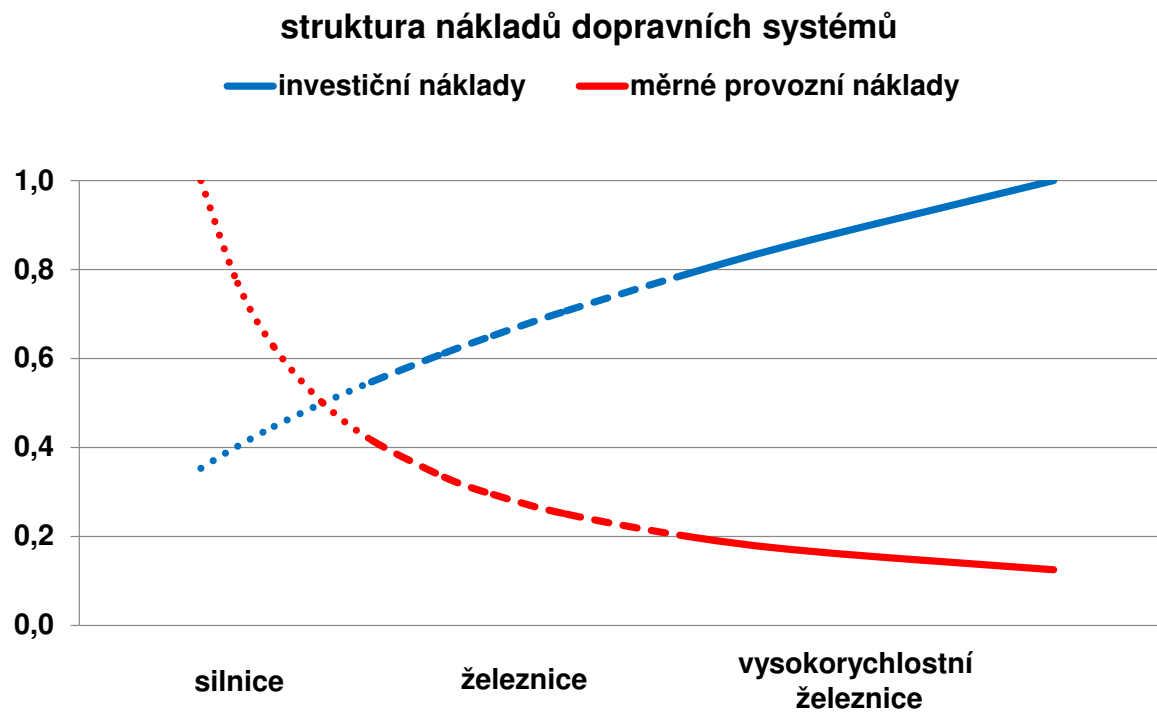
Udržitelná bezemisní multimodální mobilita: optimální poměr fixních (investičních) a variabilních (provozních) nákladů



Řízení výběru dopravního módu intenzitou přepravy

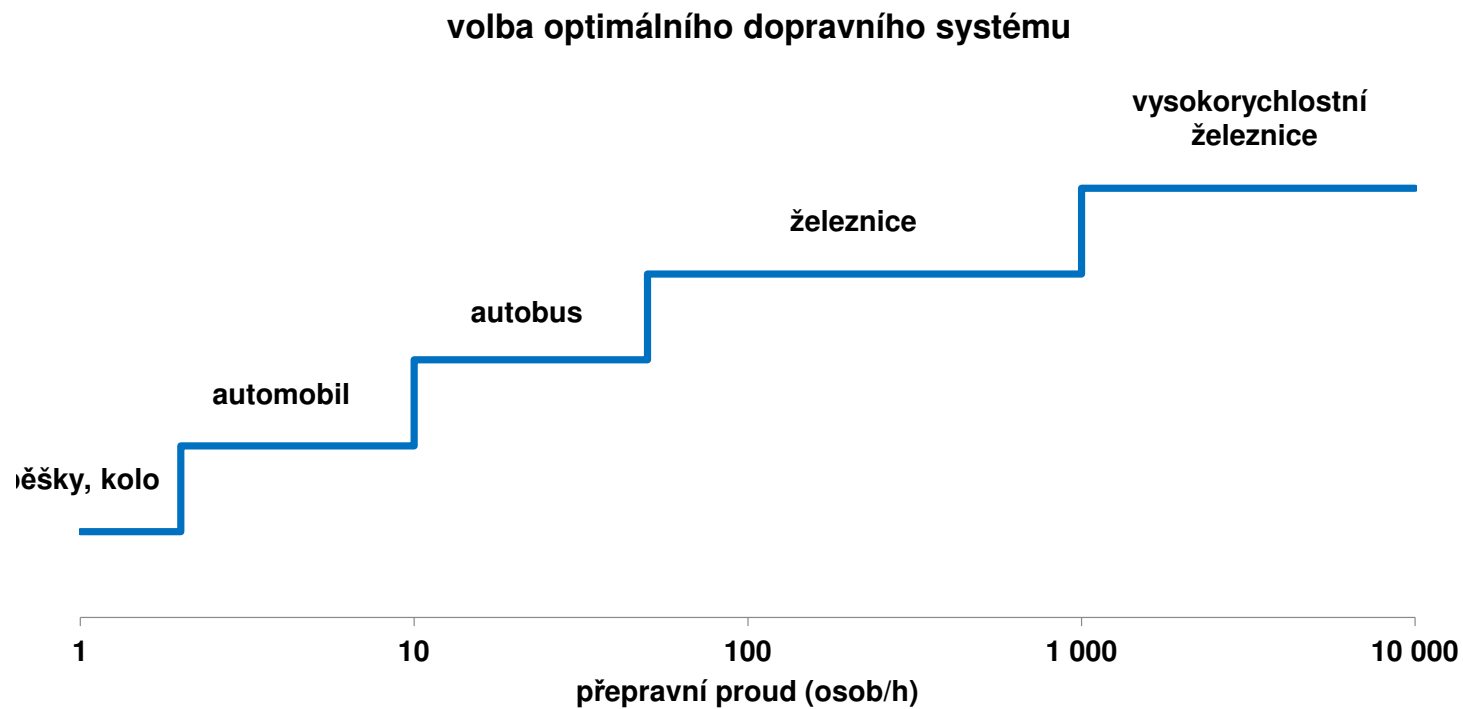
Slabá přepravní poptávka: preference minimálních investičních nákladů (i za cenu dražšího provozu).

Silná přepravní poptávka: preference minimálních provozních nákladů (i za cenu dražších investic).



Nikoliv konkurence, ale kooperace komplementárnost dopravních módů

Volbu optimálního dopravního módu určuje intenzita přepravního toku.
Každý dopravní systém je vhodné používat tam a jenom tam, kde je optimální.
Kde vynikají jeho výhody a nikoliv jeho nevýhody.



Nástroje k extramodálním úsporám energie a exhalací v nákladní dopravě: rychlost a úspora řidičů

Převod nákladní dopravy ze silnic na elektrizované železnice:

- nižší spotřeba energie,
- zásadní snížení exhalací oxidu uhličitého, způsobujících klimatické změny,
- úplné odstranění exhalací poškozujících zdraví obyvatelstva,
- výrazná úspora pracovních sil (řidičů)

Podmínka: rychlost a dochvilnost => „jistotou a bezstarostností k úsporám energie“

Příklad:

Firma posílá jednou týdně 1 dvacetistopý ISO kontejner z Prahy do Ostravy a zpět automobilem. Na jednu cestu tam a zpět spotřebuje 144 litrů paliva, tedy 1 440 kWh energie, a vytvoří 382 kg CO₂. Tatáž cesta moderním vlakem reprezentuje spotřebu elektrické energie 195 kWh, což je ekvivalent spotřeby 19,5 litru nafty, a produkci 88 kg CO₂.

Roční úspora (52 cest):

- 52 . (1 440 – 195) = 65 000 kWh energie
- 52 . (382 – 88) = 15 300 kg CO₂

K vytvoření stejné úspory 15,3 t CO₂/rok by firma musela za svůj cestující kontejner vysázet 2,2 ha nového lesa.



Kooperativnost a komplementárnost v multimodální nákladní dopravě

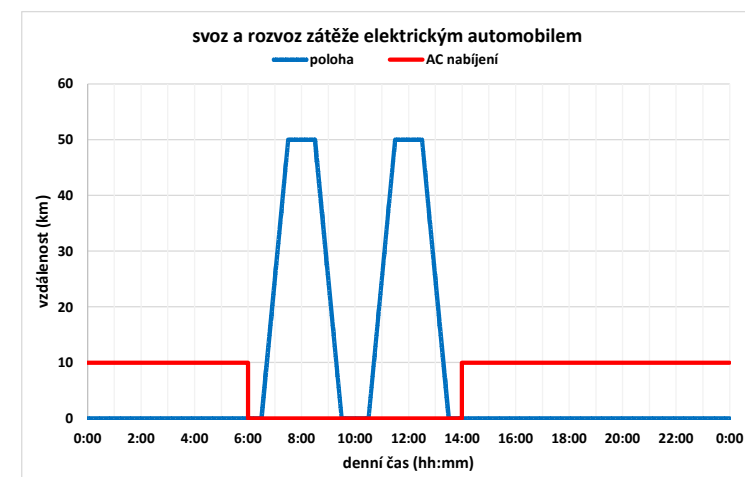
Smysluplným řešením dálkové nákladní dopravy je **kombinovaná doprava**, a to i v oblasti nejtěžších vozidel:

- první míle **elektrický nákladní automobil**,
- dálková **přeprava liniově elektrizovanou železnicí** (s **10krát nižší spotřebou elektrické energie** než vodíkový automobil),
- poslední míle **elektrický nákladní automobil**.

Pojmem míle je rozuměna vzdálenost do cca 50 km, neboť při té zvládne za osmihodinovou pracovní směnu obsloužit jeden řidič se svým automobilem **dua hvězdicovité svozy**, respektive rozvozy, v okolí multimodálního terminálu. Dojezd 200 km je technicky řešitelný i pro nejtěžší elektrické kamiony s akumulátorovými bateriemi (hrubá kombinovaná hmotnost GCV 44 t) bez toho, aby byla jejich ložná hmotnost neúměrně snižována instalací mohutné těžké akumulátorové baterie.

Zbývající část dne a noc postačují k tomu, aby byla jejich akumulátorová baterie **levně pomalu nabita přímo v multimodálním terminálu** z obyčejné zásuvky 3 x 400 V/63 A s velmi příznivým využitím sjednaného elektrického příkonu a bez potřeby zřizovat či využívat investičně a provozně drahé rychlonabíjecí stanice či další nabíjecí body.

Tento pracovní režim (200 km denně) optimálně naplňuje všechny tři limity životnosti akumulátorových baterií současných elektrických nákladních automobilů (10 let, 800 000 km, 3 000 cyklů) a vytváří podmínky pro ekonomicky efektivní využití 3 AC levné nabíjecí infrastruktury.



Přechod z fosilní na bezemisní mobilitu

Průběh dekarbonizace dopravy v ČR:

- **mezi roky 2025 a 2050 klesne spotřeba uhlovodíkových paliv v dopravě z 82 TWh/rok na nulu a tedy i produkce emisí oxidu uhličitého dopravou klesne z 20 Mt/rok na nulu:**
 - od roku 2027 budou emisní po povolenky EU ETS rozšířeny i na dopravu a lineárním redukčním faktorem bude počet vydávaných emisních povolenek každoročně snižován tak, že v roce 2050 již nebude vydána žádná – fosilní paliva nebude možno v dopravě používat, ale dopravu je potřeba zajistit,
 - již kolem rokem 2030 ukončí výrobci osobních automobilů produkci spalovacích automobilů,
 - nezvýšeným tempem prosté reprodukce (240 000 nových osobních automobilů/rok) dojde v ČR v průběhu 26 let (2025 až 2050) k **přirozené obměně** parku 6 300 000 spalovacích automobilů elektrickými. Zhruba 80 % nových osobní automobilů nakupují v ČR firmy a ty budou podle ESG silně motivovány ke snížení uhlíkové stopy organizace (ISO 14 064) a uhlíkové stopy produktu (ISO 14 067).
- **potřebné množství energie pro dopravu (výhradně elektrické) v roce 2050 bude, v závislosti na množství převedených přeprav ze silniční dopravy na kolejovou dopravu, činit jen 13 až 35 TWh/rok:**
 - zásadním nástrojem ke snížení energetické náročnosti dopravy osob je z kvalitativních i kapacitních důvodů budování železniční systému Rychlých spojení (jeho vysokorychlostní (320 km/h) i konvenční (200 km/h) části) k propojení krajských měst uvnitř ČR i ČR s okolními státy EU,
 - pro převedení přeprav osob i věcí ze silnice na kolejovou dopravu je důležitá multimodalita – vytvoření parku vozidel i infrastrukturního logistického a energetického zázemí pro kombinovanou dopravu: terminály, autonomní vozidla, infrastrukturní energetické zázemí pro bezemisní vozidla.

Energetická, ekonomická a environmentální udržitelnost mobility

Udržitelnost multimodální bezemisní mobility má tři dimenze:

- **environmentální** (bez fosilních paliv, bez klima poškozujících emisí CO₂, bez zdraví poškozujících emisí,
- **ekonomickou** (vyváženost nákladů a výnosů, efektivnost investic, energetická nenáročnost),
- **sociální** (dostupnost, kvalita).

Nutná výzkumná fáze přechodu z fosilní na bezemisní mobilitu již proběhla (vývoj pochopitelně pokračuje dál). **Přechod z fosilní mobility na bezemisní mobilitu je technicky připraven jak na straně bezemisních vozidel, tak na straně infrastrukturního energetického zázemí pro jejich.** Již probíhá realizační fáze přechodu z fosilní na bezemisní mobilitu.

Pro rychlé a efektivní uskutečnění přechodu z fosilní na bezemisní mobilitu je **rozhodující správné a koordinované investování do bezemisních vozidel a infrastrukturního energetického zázemí pro jejich provoz.** Nutností je koordinace investic fyzických osob, podnikatelských subjektů a veřejné správy, a to v technické, teritoriím a časovém souladu.

Velice podstatné je, že ze čtyř dosud hodnocených **externalit dopravy** (emise oxidu uhličitého, emise zdraví škodlivých látek, hluk a nehody) první dvě (emise oxidu uhličitého a emise zdraví škodlivých látek) v procesu dekarbonizace dopravy zanikají a nahrazuje je **nová externalita: energetická náročnost dopravy**, kterou je nutno cíleně minimalizovat.

Závěr

Dekarbonizace dopravy je důležitou, nikoliv však jedinou, součástí přechodu od extenzivně rozvíjené dopravy minulosti, poškozující klima i životní prostředí, k **environmentálně, ekonomicky i sociálně udržitelné dopravě osob i věcí.**

Jde o proces, který je potřeba **projektově uchopit a projektově řídit.**

Děkuji Vám za Vaši pozornost!

Jiří Pohl
Senior Engineer

Siemens Mobility, s.r.o.

Siemensova 1

155 00 Praha

Česká republika

Mobil: +420 724 014 931

jiri.pohl@siemens.com