

Bezemisní multimodální udržitelná mobilita

Ing. Jiří Pohl, Engineer Senior, Siemens Mobility s.r.o.

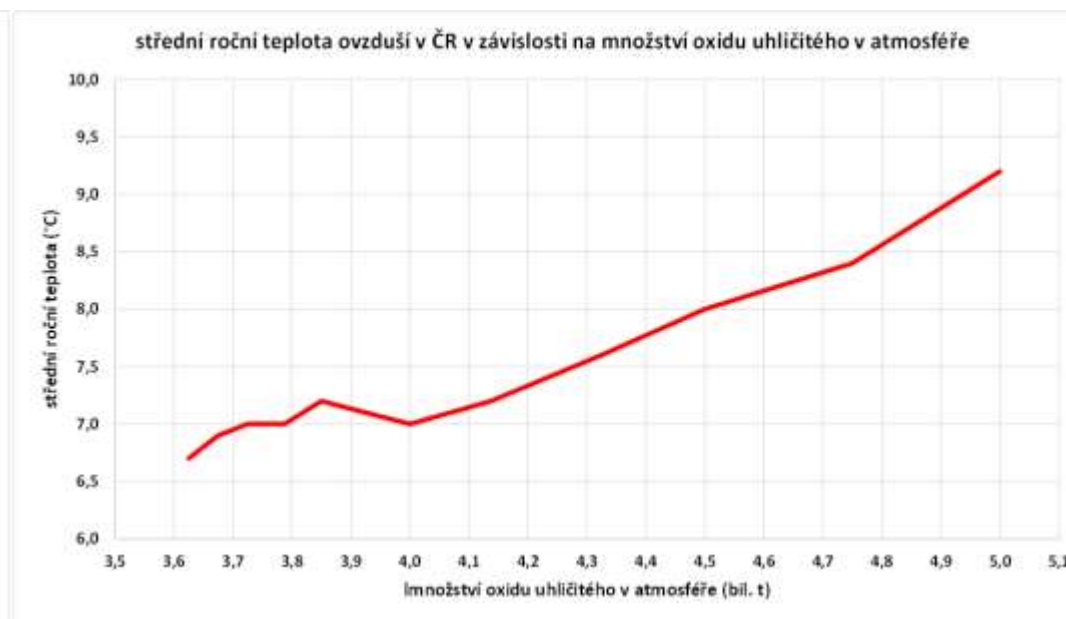
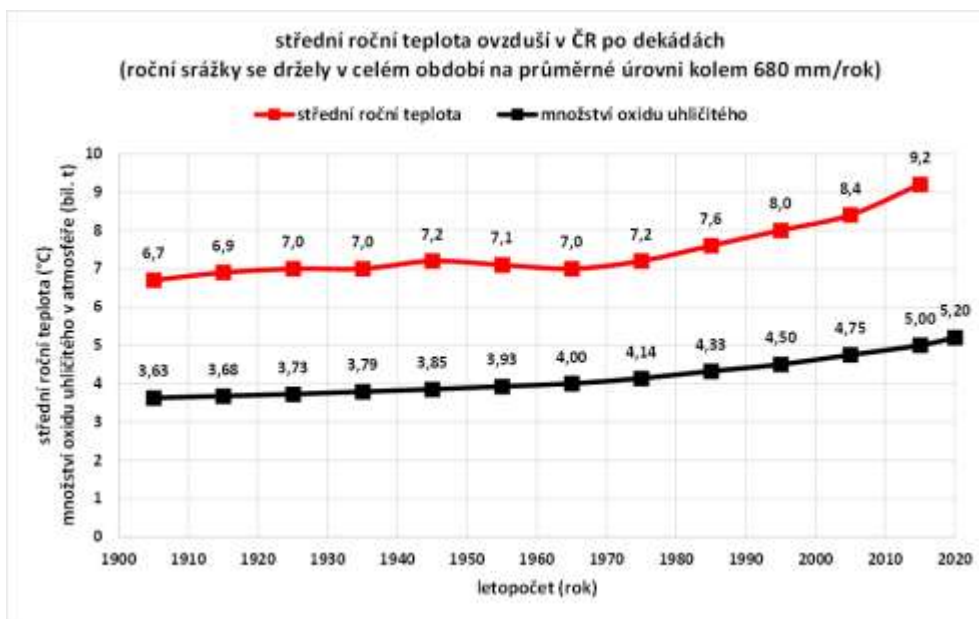
Chytrá a čistá mobilita | 19. 9. 2023 | Praha

Realita současnosti

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:

- 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.

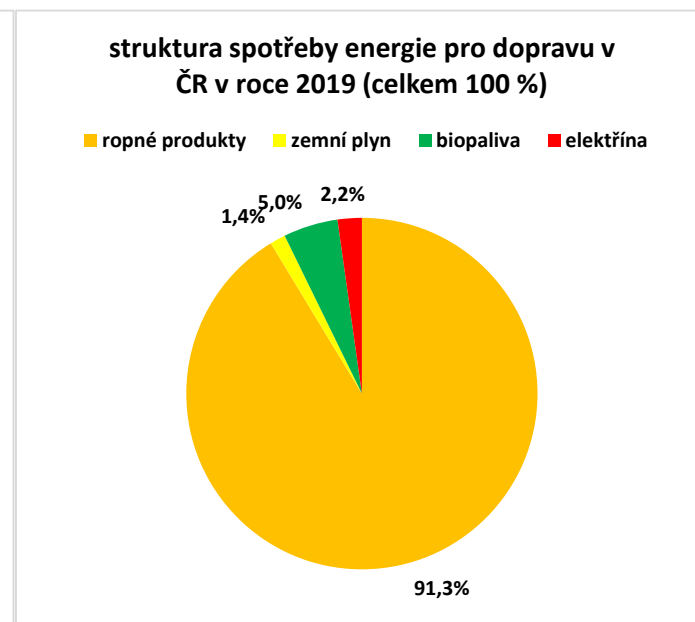
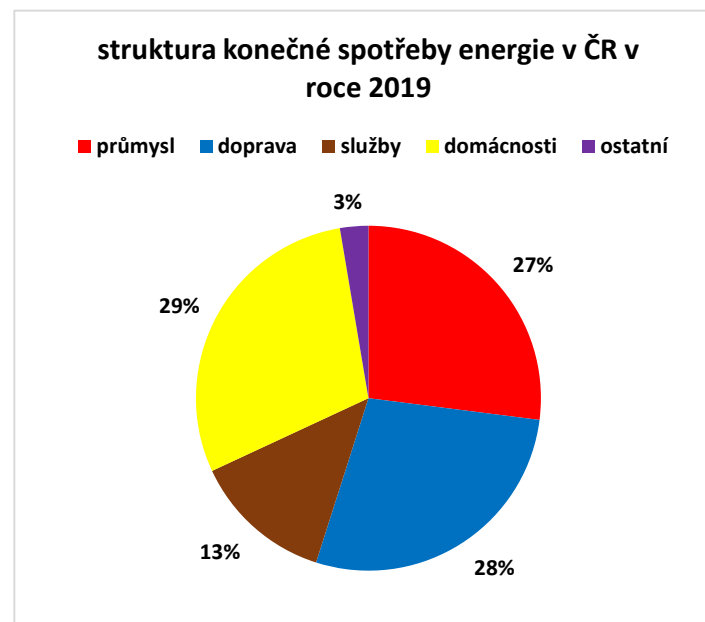
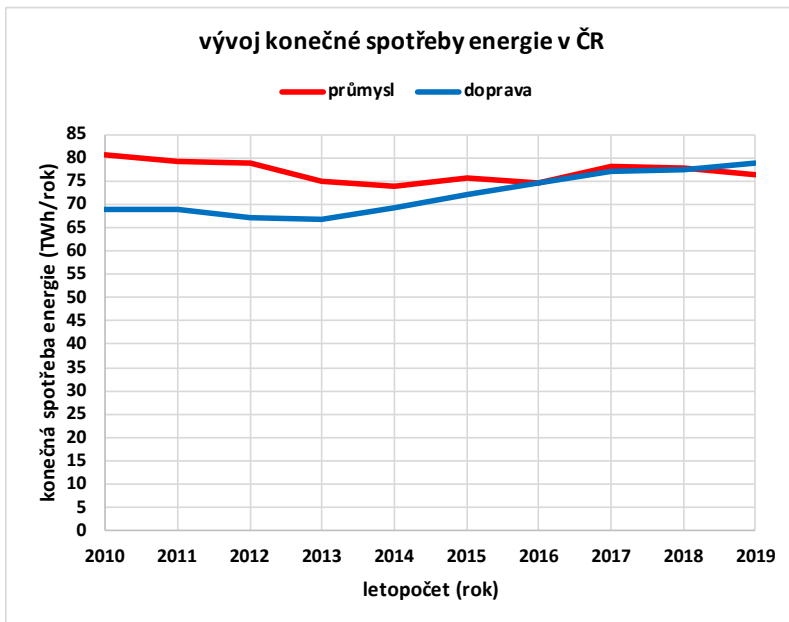
Příčina sucha, které Evropa zažívá, není nedostatek atmosférických srážek. V ČR ročně spadne i nyní v průměru zhruba 680 mm srážek ročně, stejně jako na začátku minulého století. Jen jejich odpařování je vlivem zvýšené teploty více intenzivní a jejich odtok při náhlých deštích je četnější.



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.

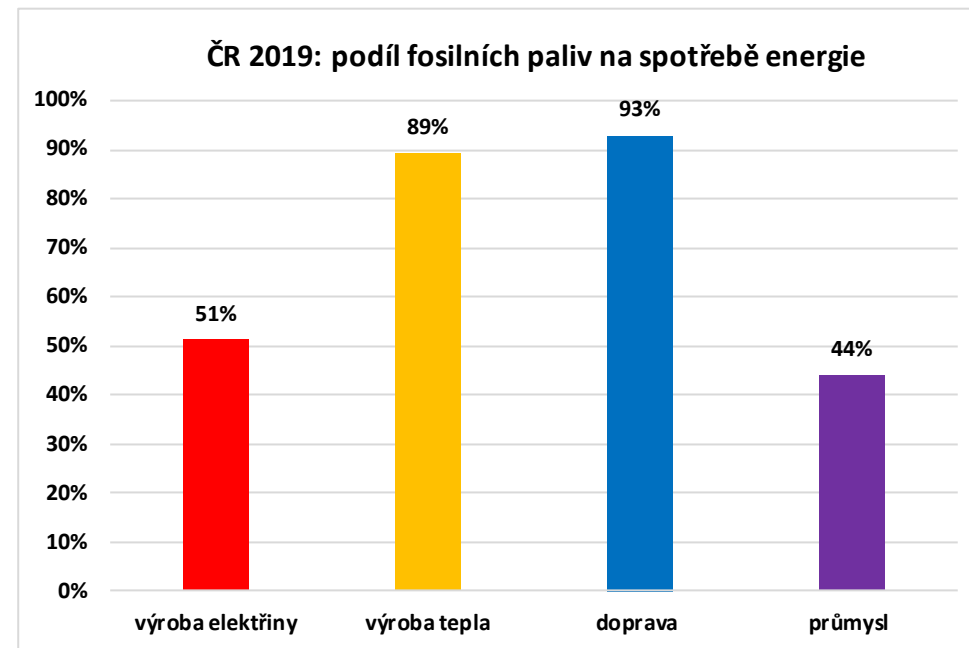
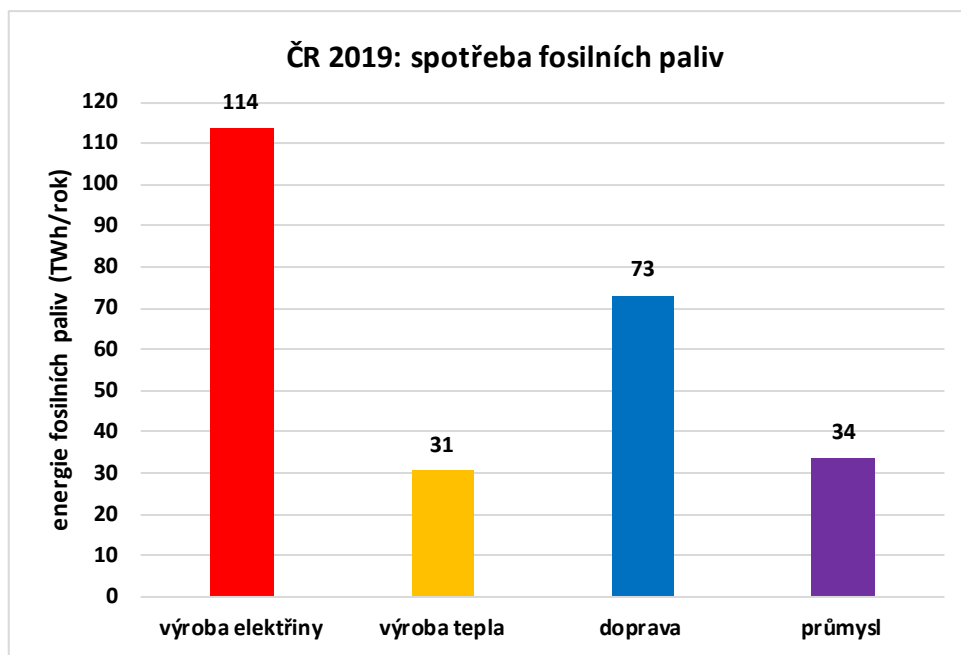
=> ke splnění cílů ČR v oblasti energetiky a klimatu je nutno v období 2021 až 2030 zapojit do systematického trendu a programů úspor energie kromě průmyslu a domácností plnohodnotně i dopravu.



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).

Energie pro dopravu 2019

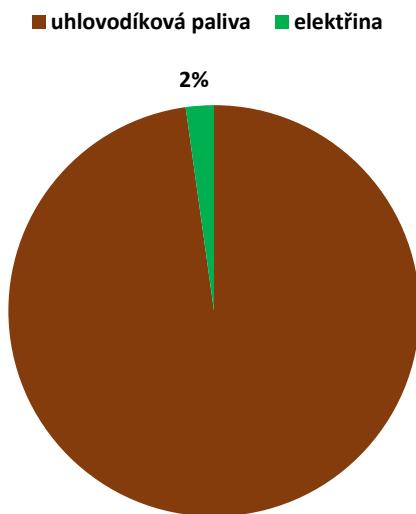
Spotřeba energie pro dopravu je velmi vysoká, činí v ČR 20 kWh/obyvatele/den.

Struktura spotřeby energie pro dopravu je v ČR velmi nezdravá:

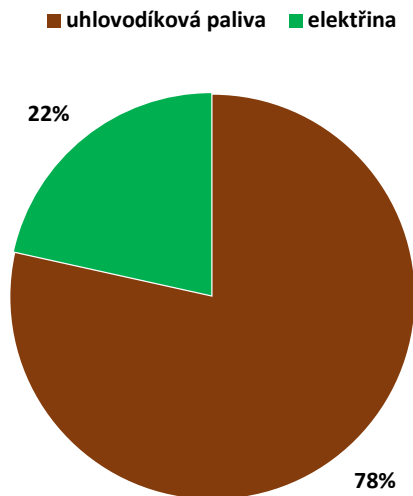
- fosilní paliva 93 % (zajišťují 74 % přepravních výkonů),
- biopaliva 5 % (zajišťují 4 % přepravních výkonů),
- elektřina 2 % (zajišťuje 22 % přepravních výkonů, neboť je vysoce efektivně používána v kolejové dopravě).

=> doprava v ČR produkuje 5 kg oxidu uhličitého na obyvatele a den

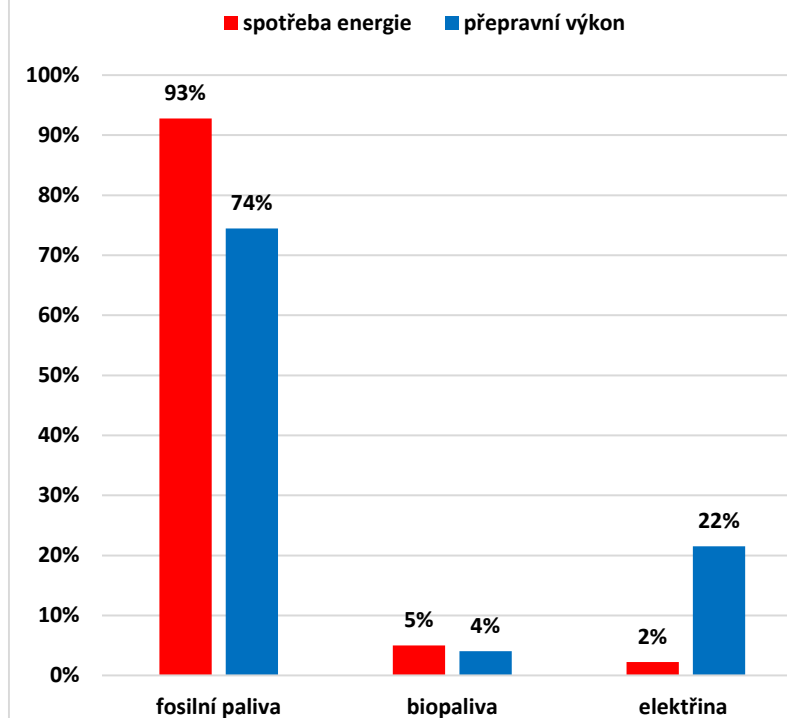
struktura spotřeby energie pro dopravu v ČR



struktura přepravních výkonů dopravy v ČR



ČR 2019: struktura spotřeby energie pro dopravu

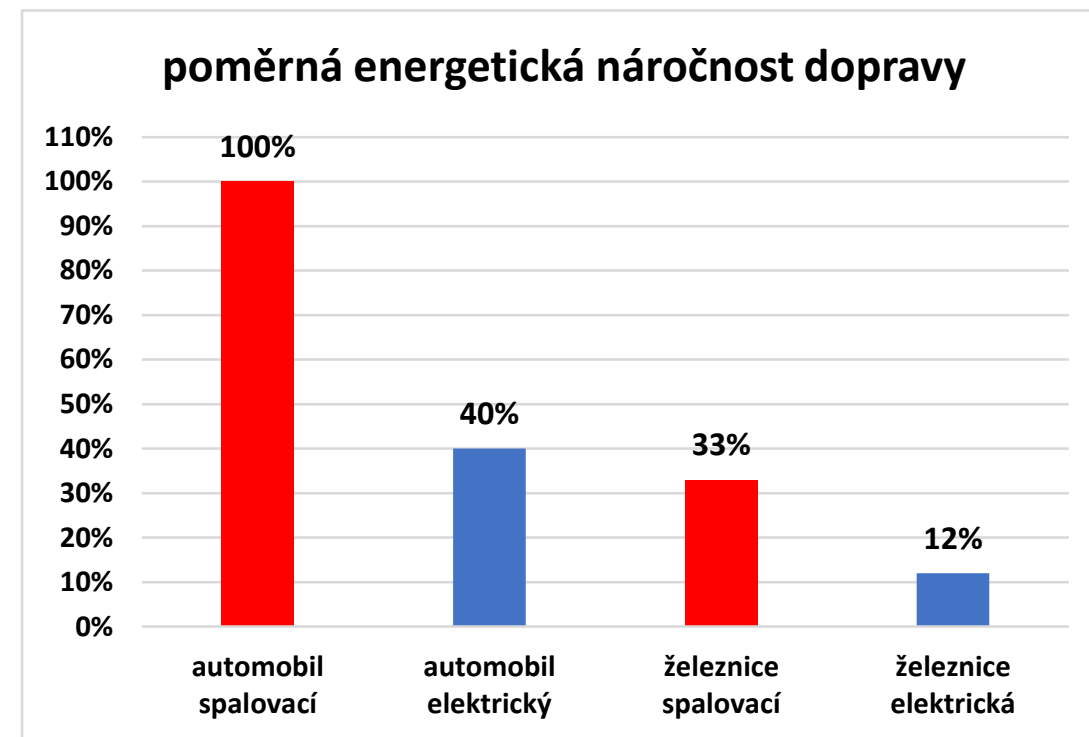


Potenciál úspor energie v dopravě

Spotřebu energie v dopravě a emise oxidu uhličitého i zdraví škodlivých látek (NO_x, PM, PAH, ...) lze zásadním způsobem snížit.

Jak při dopravě osob, tak při dopravě věcí jsou v ČR dominantním dopravním systémem spalovací automobily, které se vyznačují velmi vysokou spotřebou energie, a to v podobě fosilních paliv:

- využívají spalovací motor, který má zhruba **2,5 krát** nižší energetickou účinnost než elektrický trakční pohon,
- využívají silniční dopravu, která má zhruba **3 krát** vyšší energetickou náročnost než doprava kolejová (v součinu s používáním spalovacích motorů vůči elektřině na železnici jde o **7,5 násobek**).



Potenciál úspor energie v dopravě

V dopravě lze docílit dva druhy úspor:

Intramodální úspory, tedy úspory docílené technickými inovacemi v rámci téhož druhu dopravy. Jsou například reprezentovány náhradou spalovacího motoru elektrickým trakčním pohonem (**pokles spotřeby energie ze 100 % na 40 %**)

Extramodální úspory, tedy úspory docílené převedením přeprav na energeticky hospodárnější druh dopravy. Jsou reprezentovány především převodem silniční dopravy na železnici s elektrickou vzbou (**pokles spotřeby energie ze 100 % na 13 %**).

K využití potenciálu extramodálních úspor energie a emisí je nutno splnit dvě podmínky:

- **kvalita** přepravní nabídky (rychlost a pohodlí) k motivaci přepravní poptávky ke změně dopravního chování směrem k energeticky a emisně úsporným druhům dopravy,
- **kvantita** přepravní nabídky (dostatečná přepravní kapacita) k převzetí přepravní poptávky.



Nástroje k extramodálním úsporám energie a exhalací 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.

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

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,
- 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):

$$52 \cdot (1\,440 - 195) = 65\,000 \text{ kWh energie}$$

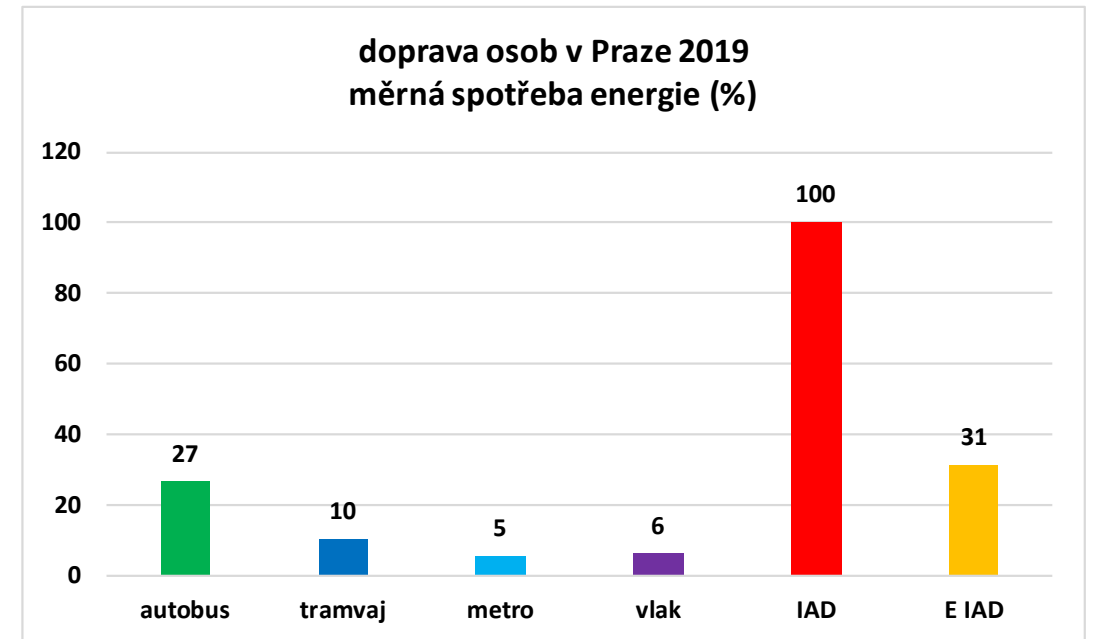
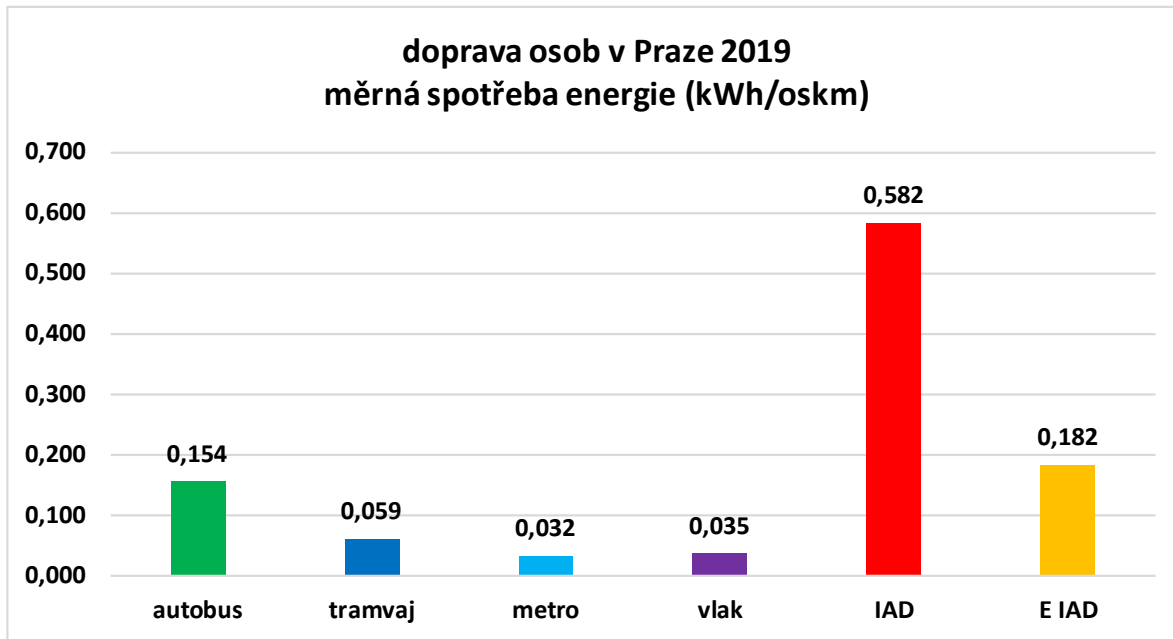
$$52 \cdot (382 - 88) = 15\,300 \text{ kg CO}_2$$

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

Doprava osob v Praze – skutečnost roku 2019 (energetika)

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

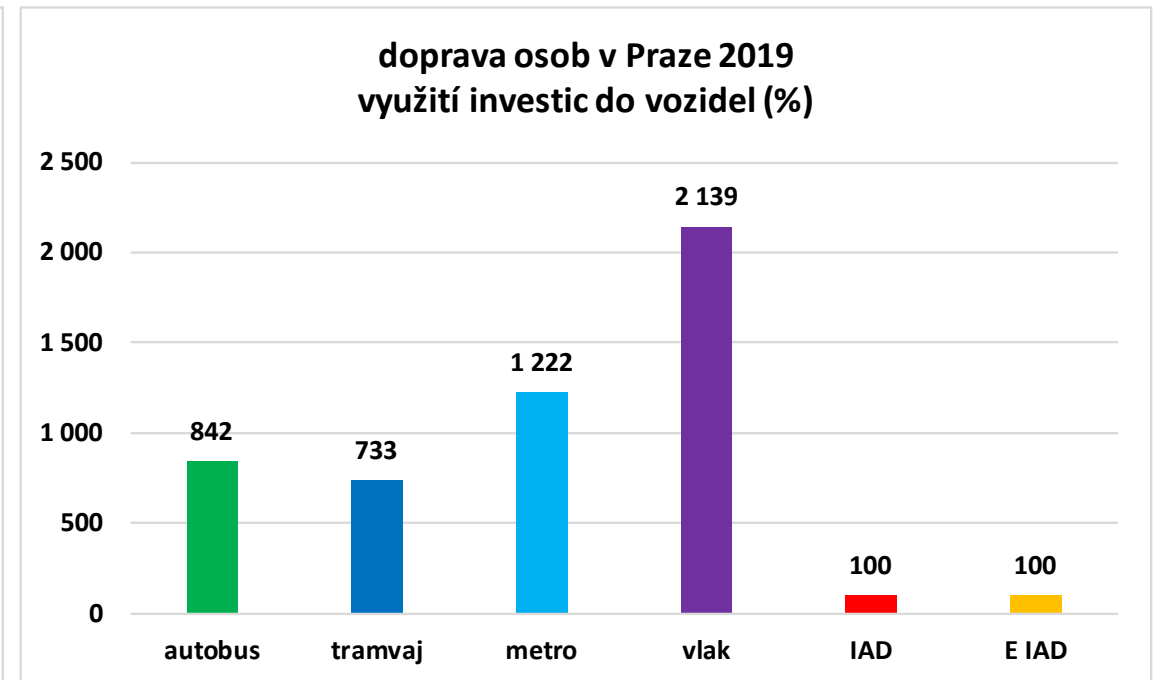
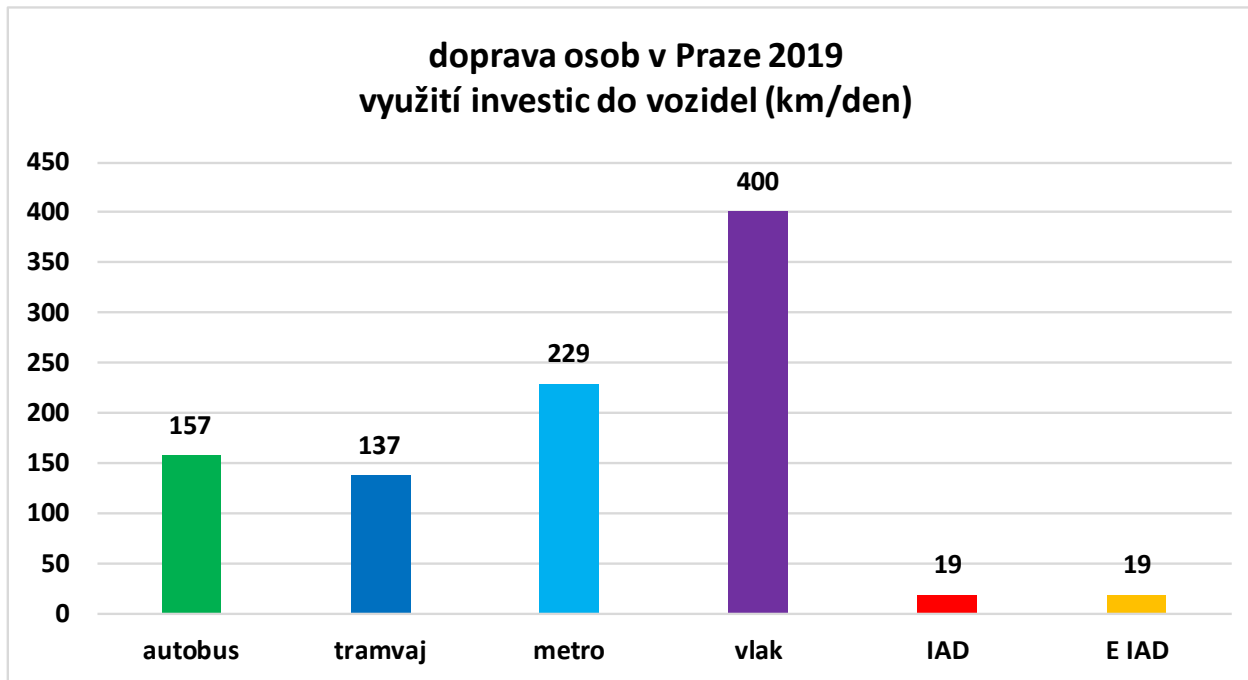
Energeticky je veřejná hromadná doprava velmi efektivní – na celkové spotřebě energie pro dopravu osob se podílí jen 11 %, zatím co individuální automobilová doprava 89 %.



Doprava osob v Praze – skutečnost roku 2019 (efektivita)

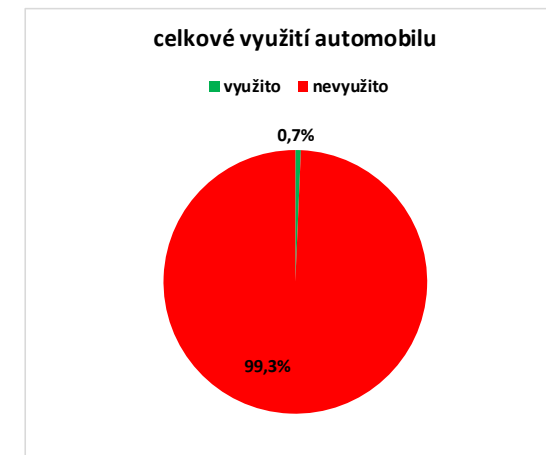
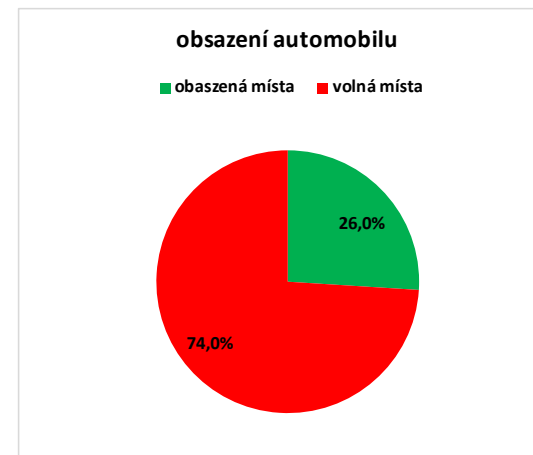
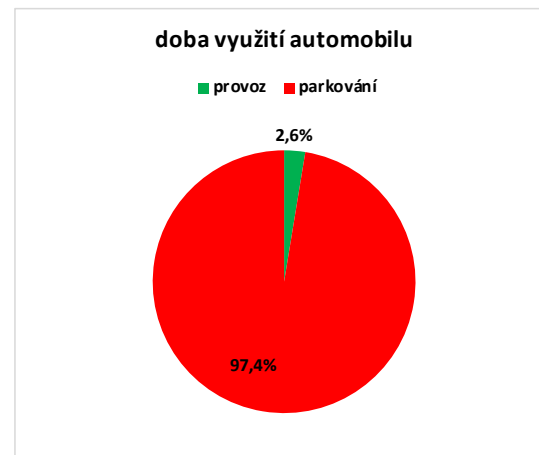
Efektivnost investic do pořízení osobních automobilů je velmi nízká, v průměru připadá na jeden v Praze registrovaný automobil denní proběh všech (i mimopražských) osobních automobilů po pražských ulicích jen 19 km. Téměř celý den někde parkuje.

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.



Pracovní režim osobního automobilu v ČR

Veřejná hromadná doprava mnohem lépe využívá kapacitu veřejných komunikací než individuální automobilová doprava a neblokuje plochy veřejných prostor parkováním. Využití kapitálu několika bilionů Kč vloženého institucemi a občany ČR do pořízení 6,3 milionu osobních automobilů je velmi nízké. Pokud by byly všechny automobily stále v provozu a plně obsazeny a stále v provozu, stačilo by jich 150krát méně.



- osobní automobil je v ČR v průměru **obsazen 1,3 osobami a denně ujede 29 km.**
 - osobní automobil je v ČR v průměru **provozován jen 37 minut, zbylých 23 hodin a 23 minut parkuje.**
- ⇒ využití investice vložené do pořízení osobních automobilů je velmi nízké,
- ⇒ prioritní orientace investic do zvýšení kvality a výkonnosti veřejné hromadné dopravy s řádově vyšší efektivitou využití investic.

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 split dvě základní podmínky:**

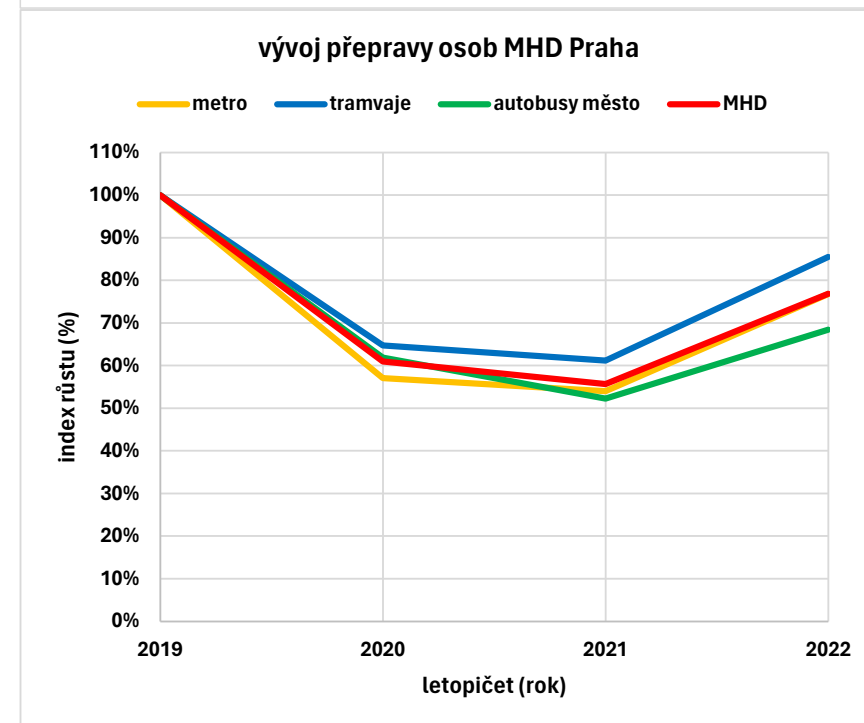
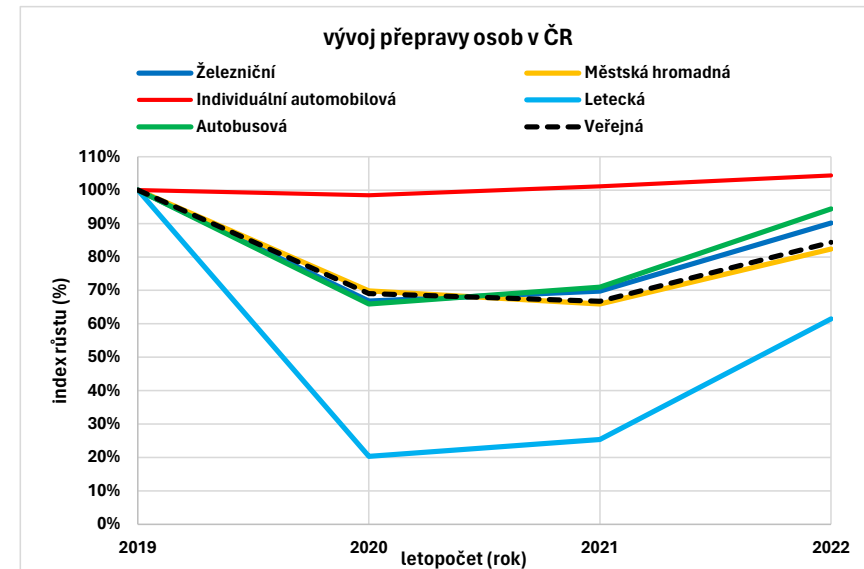
- **kvalitativní:** veřejná hromadná doprava musí nabízet obyvatelstvu bezpečnost, spolehlivost, dochvilnost, rychlost a pohodlí a tím obyvatelstvo pozitivně motivovat k přirozené preferenci veřejné hromadné dopravy,
- **kvantitativní:** veřejná hromadná doprava musí disponovat dostatečnou přepravní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

Postcovid: vývoj různých druhů osobní dopravy v ČR v období 2019 až 2022

Na rozdíl od individuální automobilové dopravy došlo v letech 2019 až 2021 k významnému poklesu přepravy osob ve veřejné hromadné dopravě. Hodnoty v letech 2020 a 2021 však nejsou pro vývoj do budoucích let důležité. Za pozornost stojí hodnoty roku 2022:

- individuální automobilová doprava nadále kontinuálně narůstala a v r. 2022 dosáhla 104 % přepravených osob v roce 2019,
- veřejná doprava se v ČR v roce 2022 zotavila k úrovni 84 % přepravených osob v roce 2019,
- autobusová doprava se v ČR v r. 2022 zotavila k úrovni 94 % přepravených osob v r. 2019,
- železnice se v ČR v roce 2022 zotavila k úrovni 90 % přepravených osob v roce 2019,
- MHD se v ČR v roce 2022 zotavila k úrovni 82 % přepravených osob v roce 2019,
- MHD se v Praze v roce 2022 zotavila k úrovni 77 % přepravených osob v roce 2019,
- letecká doprava se v ČR v roce 2022 zotavila k úrovni 61 % přepravených osob v r. 2019.

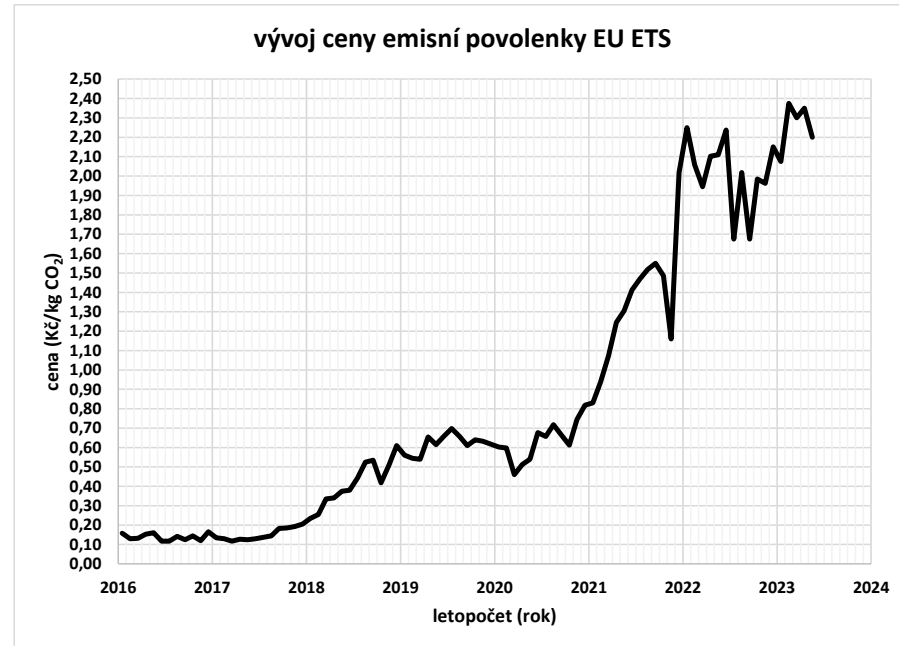
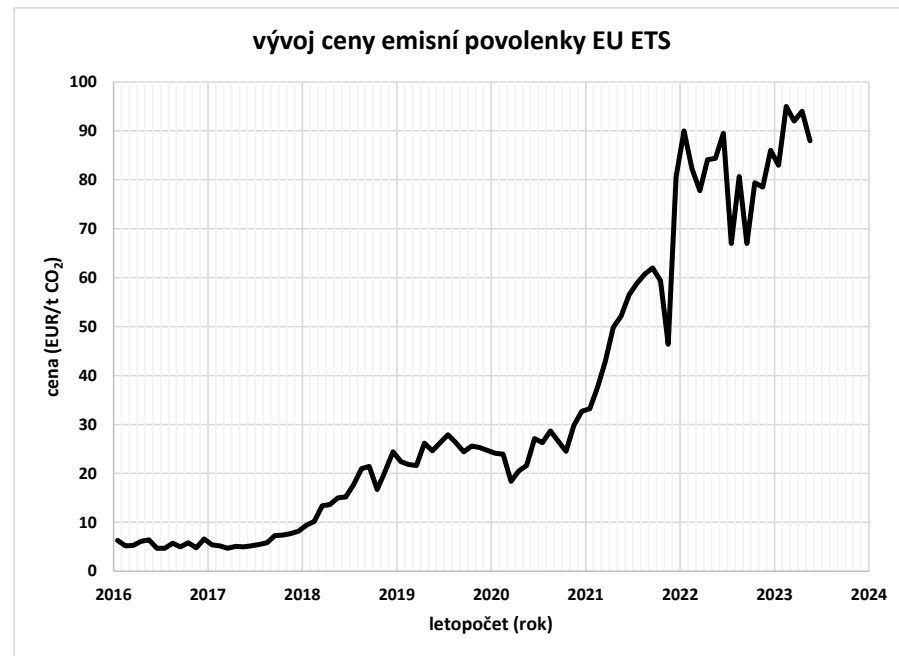
Ze statistik je zřejmé, že pokles přepravní poptávky, setrvávající i po odeznění pandemie počátkem roku 2022, se kromě letecké dopravy týká zejména městské a regionální hromadné dopravy. **Vzrůst intenzity automobilové dopravy vyvolává na pozemních komunikacích kongesce. Ty zejména ve městech působí jako významná mezioborová externalita: zdržují veřejnou hromadnou dopravu a tím zhoršují její kvalitu i její produktivitu.**



Emisní povolenky EU ETS

Princip obchodování s emisemi oxidu uhličitého EU ETS je prostý:

- kdo potřebuje spalovat fosilní paliva (a spadá do emisními povolenkami regulované oblasti, což je v současnosti průmysl a energetika, nikoliv doprava a domácnosti) je povinen koupit si v odpovídajícím množství emisní povolenky,
- z výnosu z prodeje emisních povolenek mají být podle směrnice 2003/87/ES podporovány inovativní investice zaměřené k úsporám energie a emisí a to včetně „podněcování k přechodu na ty způsoby dopravy, které produkují nízké emise uhlíku, a na veřejnou hromadnou dopravu“. V ČR se tak dosud neděje většina výnosu z prodeje emisních povolenek **není účelově vázána a je podobně jako výnos z daní neadresným příjmem státního rozpočtu**. Řešením je **novela zákona č. 383/2005 Sb., navržená MŽP**, která dává zákon č. 383/2005 Sb. do souladu směrnice 2003/87/ES.
- cenu emisních povolenek určuje elasticita trhu, avšak je programově řízena snižováním vydávaného množství emisních povolenek lineárním redukčním faktorem (aktuálně o 2,2 %/rok). **Tržní cena emisních povolenek jsou tak vysoká, jak je potřeba k tomu, aby jak vysokou cenou fosilních paliv, tak i podporou inovativních investic poklesla spotřeba fosilních paliv ke snížení produkce CO₂ o 2,2 %/rok.**



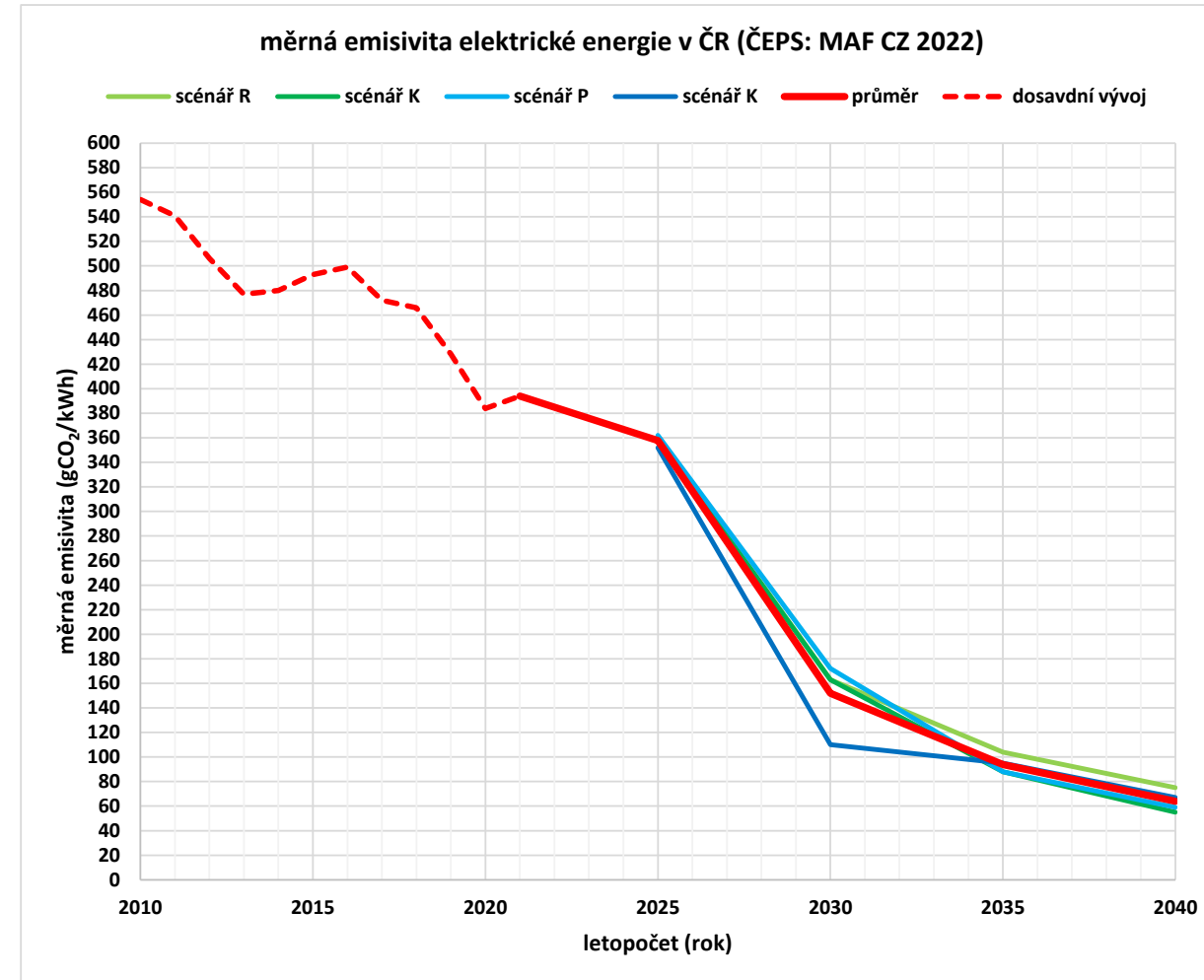
Emisivita výroby elektrické energie v ČR

Měrná emisivita výroby elektrické energie v ČR je programově radikálně snižována. Důvody jsou ryze ekonomické.

- Elektrárny spalující uhlí s měrnou emisivitou 0,36 kg CO₂/kWh a s účinností 36 % produkují elektrickou energii s měrnou emisivitou 1 kg CO₂/kWh.
- **To pro uhelné elektrárny při aktuální tržní ceně emisní povolenky EU ETS v úrovni kolem 80 EUR/t CO₂ (cca 2 Kč/kg CO₂) zvyšuje náklady na výrobu elektrické energie zhruba na trojnásobek, což činí uhelné elektrárny nekonkurenceschopnými.**
- Navíc podle zásad taxonomie již banky nepodporují investice do rozvoje těžby uhlí a souvisejících aktivit.
- Tyto ekonomické skutečnosti způsobují programový útlum uhelných elektráren. Ustává export elektrické energie (dosud cca 14 TWh/rok) a nahrazují je obnovitelné zdroje energie v kombinaci s paroplynovými elektrárnami, nezbytnými pro vykrytí volatility obnovitelných zdrojů.

Poznámka:

Radikální pokles měrné emisivity elektrické energie významně snižuje výrobní i provozní emise CO₂ elektrických vozidel.

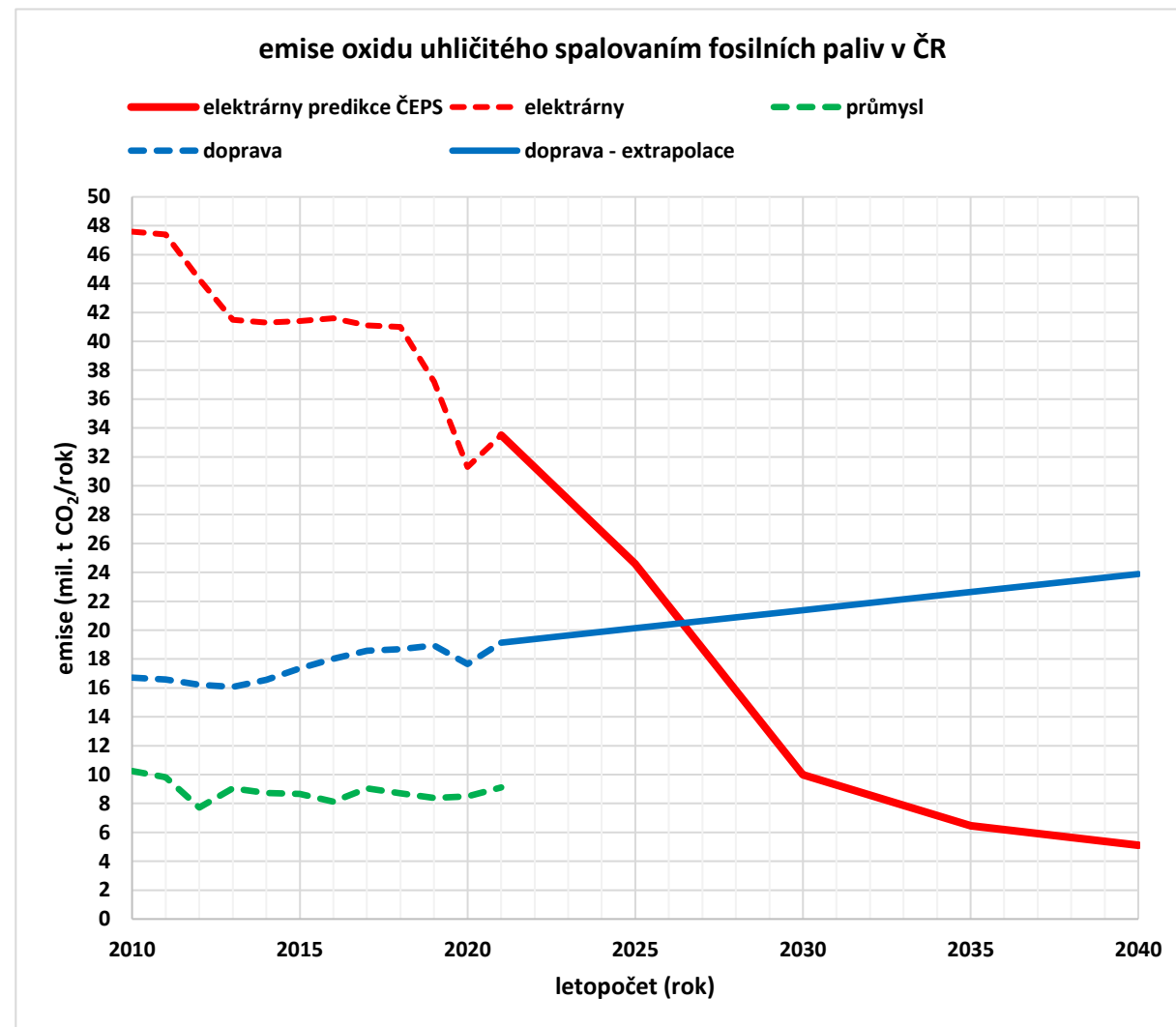


Dekarbonizace hospodářství ČR

Ve všech oborech lidské činnosti je cíleně snižována produkce emisí oxidu uhličitého spalováním fosilních paliv.

Dekarbonizaci energetiky výrazně akceleruje ekonomika: platby za emisní povolenky činí výrobu elektrické energie ve fosilních 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.



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

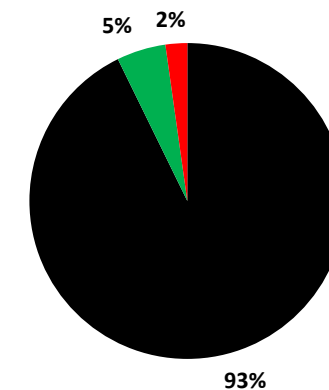
V ČR jsou systematicky snižovány emise zdraví škodlivých látek z lokálních topenišť a z průmyslové výroby. Doprava za tímto trendem zaostává. **Ve městech se doprava stala dominantním (až 90 %) znečišťovatelem ovzduší zdraví škodlivými látkami** (oxidy dusíku NO_x, polyaromatické uhlovodíky PAH, prchavé 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 přesvědčená financují dovozem ropy vyzbrojování agresivních armád, které si nepokrytě kladou cíl je dobýt a získat.

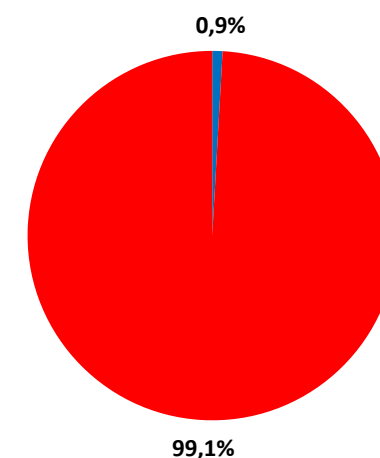
struktura spotřeby energie pro dopravu v ČR v roce 2019 (celkem 100 %)

■ importovaná fosilní paliva ■ biopaliva ■ elektřina



ropná bilance zemí EU

■ vlastní zdroje ■ dovoz



Rozšíření systému emisních povolenek EU ETS na domácnosti a dopravu

Současný stav ve zpoplatnění produkce oxidu uhličitého je nerovný. Oblast spotřeby fosilních paliv, regulovaná emisními povolenkami oxidu uhličitého EU ETS, se vztahuje jen na průmysl a energetiku, nikoliv na dopravu a na domácnosti.

V důsledku toho platí emisní povolenky jen polovina spotřebitelů fosilních paliv, zatím co druhá polovina spotřebitelů fosilních paliv, a tím i producentů oxidu uhličitého, což jsou automobily a lokální topeniště, není dosud do systému emisních povolenek EU ETS zahrnuta. Přitom se zároveň jedná největší znečišťovatele životního prostředí zdravými škodlivými látkami (NO_x, PM, PAH, VOC, ...).

Tato nedůslednost působí velmi silně proti dekarbonizaci dopravy, neboť diskriminuje uživatele bezemisních elektrických vozidel:

- v ceně elektrické energie jsou zahrnuty emisní povolenky, neboť ty zvyšují cenu silové elektrické energie z uhelných elektráren na trojnásobek,
- v ceně automobilového benzínu (2,45 kg CO₂/litr), motorové nafty (2,45 kg CO₂/litr) a zemního plynu (2,79 kg CO₂/kg) nejsou dosud zahrnuty emisní povolenky.

Tato diskriminace elektrické vozby bude odstraněna až od roku 2027, kdy bude v zemích EU pro domácnosti a dopravu vytvořen samostatný obchodní systém emisních povolenek EU ETS 2.

V závislosti na cenové elasticitě tržní poptávky po fosilních palivech se bude měnit tržní cena emisní povolenky (a spolu s tím i cena fosilních paliv) tak, aby prodej fosilních paliv (a s jejich používáním spojené emise oxidu uhličitého), klesal požadovaným tempem. Toto tempo je určováno lineárním redukčním faktorem, který stanoví roční snižování množství vydávaných emisních povolenek.

Cena tržní povolenky bude vytvořena elasticitou trhu (zpočátku s limitem 45 EUR/t CO₂). Po roce 2030 bude systém EUETS 2 sloučen se systémem EU ETS. Fosilní paliva budou tak drahá, jak velké zdražení je pro obyvatelstvo potřebnou motivací k dodržení stanoveného tempa snižování jejich spotřeby.

V roce 2050 již nebudou vydány žádné emisní povolenky, doprava již nedostane žádná fosilní paliva, bude muset fungovat i bez nich.

Udržitelná bezemisní multimodální mobilita

Základní zadání pro dopravu je jednoduché: **v roce 2050 nebude mít doprava k dispozici žádná fosilní paliva.**

Pro fungování společnosti je potřeba zajistit dopravu osob a věcí bez fosilních paliv.

To by v nejjednodušším případě (prostá záměna spalovacích vozidel elektrickými) znamenalo náhradu současných cca 82 TWh/rok uhlovodíkových paliv cca 33 TWh/rok elektrické energie (**redukční poměr 2,5 je dán poměrem vyšší účinností elektrického pohonu a nižší účinností spalovacího pohonu**).

Rozšířené zadání pro dopravu je komplexnější:

- radikálněji snížit energetickou náročnost dopravy, aby nepotřebovala tolik elektrické energie,
- vysokorychlostním železničním systémem zrychlit meziměstskou dopravu ze 160 km/h na 320 km/h s cílem zapojit celou plochu území ČR do systému tvorby a spotřeby hodnot (přeměnou monocentrické struktury osídlení na polycentrickou),
- humanizovat města, zvýšit kvalitu bydlení a žití ve městech převedením zbytné části automobilové dopravy na veřejnou hromadnou dopravu, jízdní kola a pěší chůzi, radikálním snížením počtu parkujících automobilů ve veřejném prostoru,
- odlehčit silniční síť, převést dálkovou nákladní dopravu ze silnic a dálnic na železnice.

Převedení přeprav ze silnice na železnice přináší další redukční poměr, a to v hodnotě 3 (vliv nižšího odporu valení ocelových kol na ocelových kolejnicích ve srovnání s odvalováním pneumatik po vozovce a nižšího aerodynamického odporu dlouhých štíhlých v těsném zákrytu jedoucích vozidel ve srovnání s krátkými automobily).

V součinu obou redukčních poměrů lze při náhradě spalovacích automobilů elektrickou železnicí dosáhnout výsledný redukční poměr energetické náročnosti dopravy $2,5 \cdot 3 = 7,5$. Pokles spotřeby energie ze 100 % na pouhých 13 % (úspora 87 %) je důvodem základní orientace udržitelné mobility na tento trend.

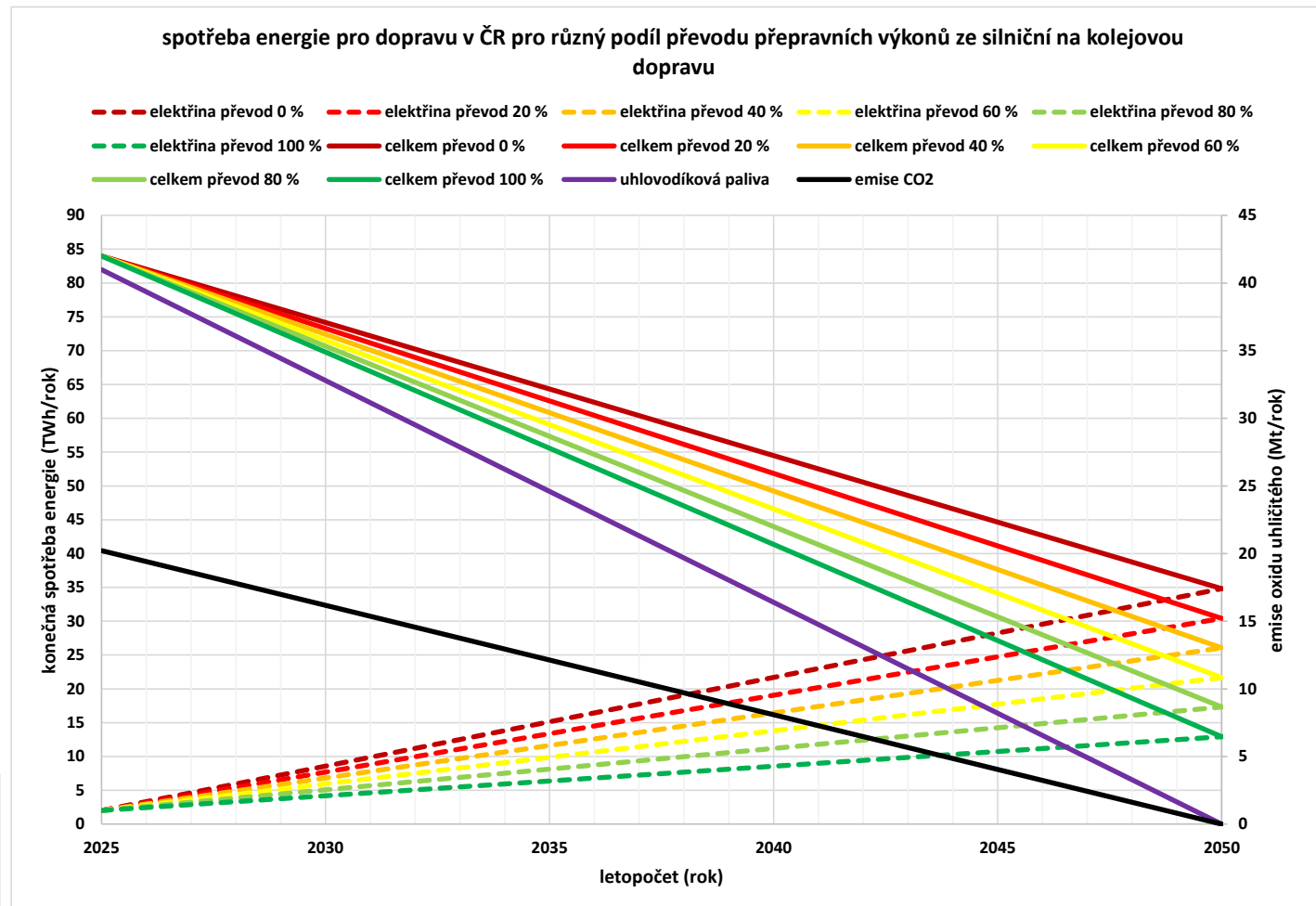
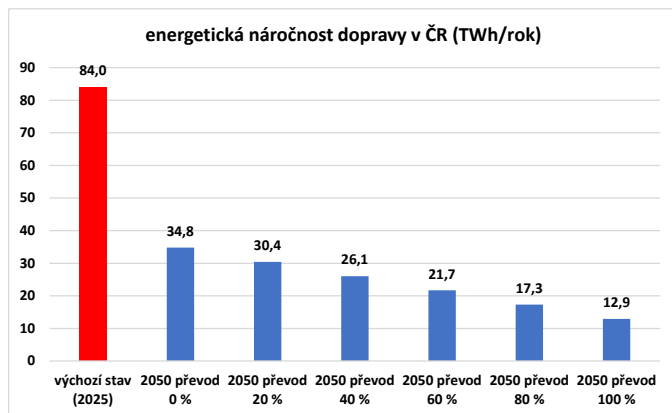
Přechod z fosilní na bezemisní mobilitu

Do roku 2050 skončí použití fosilních paliv v dopravě a spolu s tím i produkování emisí oxidu uhličitého.

Při náhradě uhlovodíkových paliv elektrickou energií dojde vlivem odklonu od používání spalovacích motorů (nízká účinnost, neschopnost rekuperovat brzdou energii) též k zásadnímu snížení spotřeby energie pro dopravu na cca 40 %.

Další snížení (na 13 %) přináší převod na koleje.

Spotřeba (elektrické) energie pro dopravu bude o to nižší, čím více přepravních výkonů se podaří převést ze silniční do kolejové dopravy.



výchozí bod 2025: 82 TWh/rok uhlovodíková paliva + 2 TWh/rok elektřina
cílový bod 2050: 0 TWh/rok uhlovodíková paliva + 13 až 35 TWh/rok elektřina

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 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).
- **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.

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:

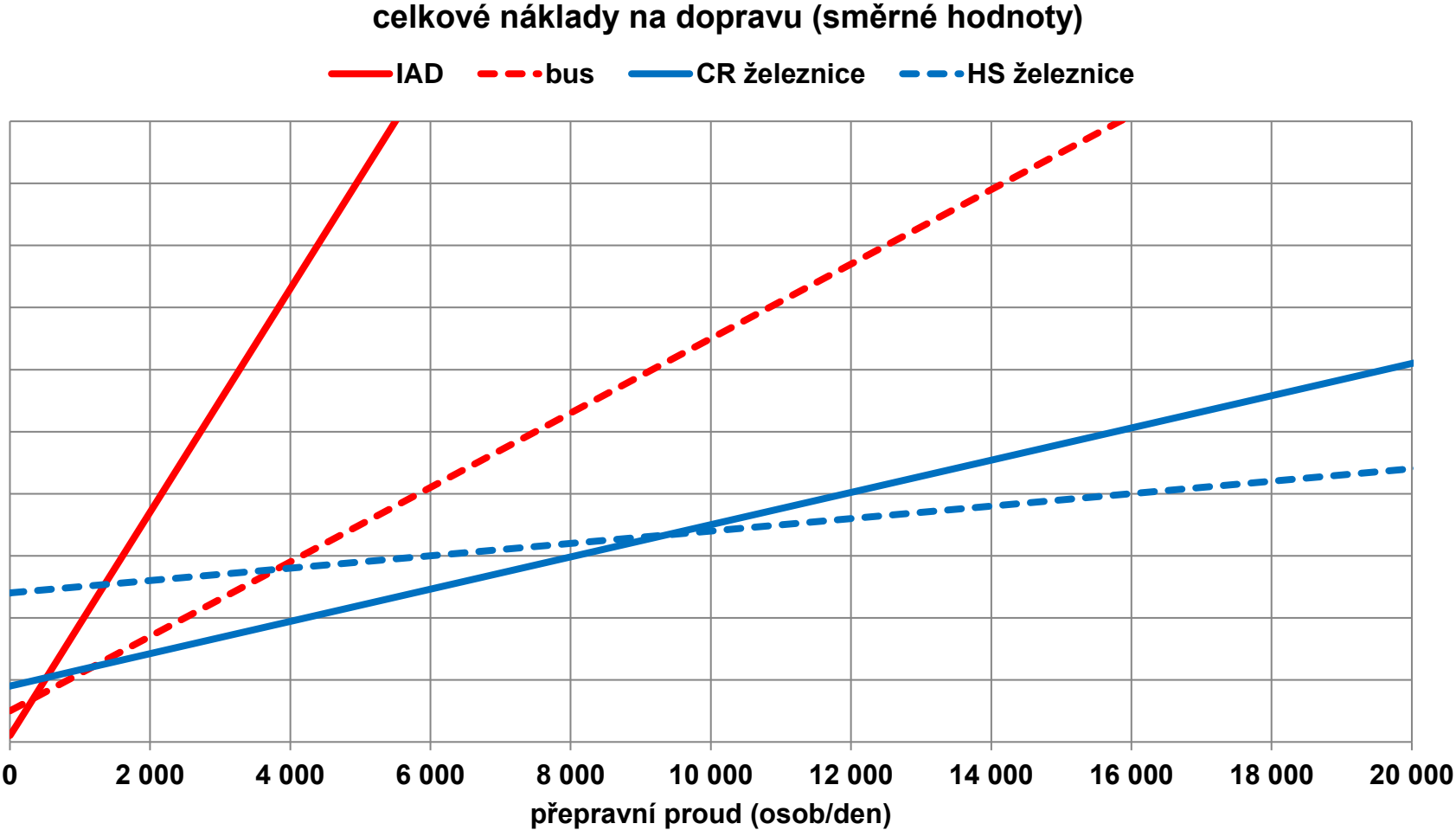
- doprava patří spotřebou přes 80 TWh/rok největším konečným spotřebitelem energie v ČR,
- spotřeba energie v dopravě vydatně roste (zhruba o 3 % ročně),
- energie pro dopravu je z 93 % tvořena fosilními palivy, importovanými zejména z rizikových zemí,
- doprava produkuje spalováním fosilních paliv 20 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).

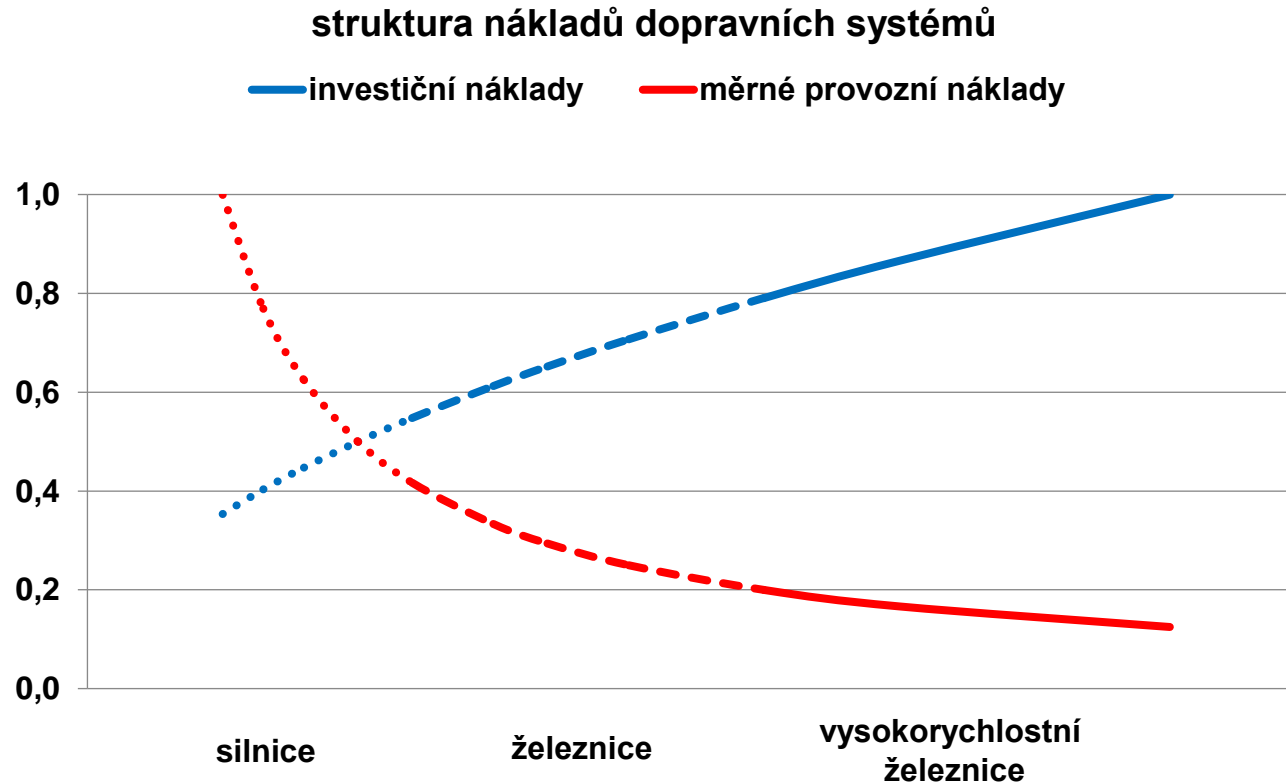
Každý druh dopravy má logiku používat tam a jenom tam, kde převažují jeho výhody nad nevýhodami.

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



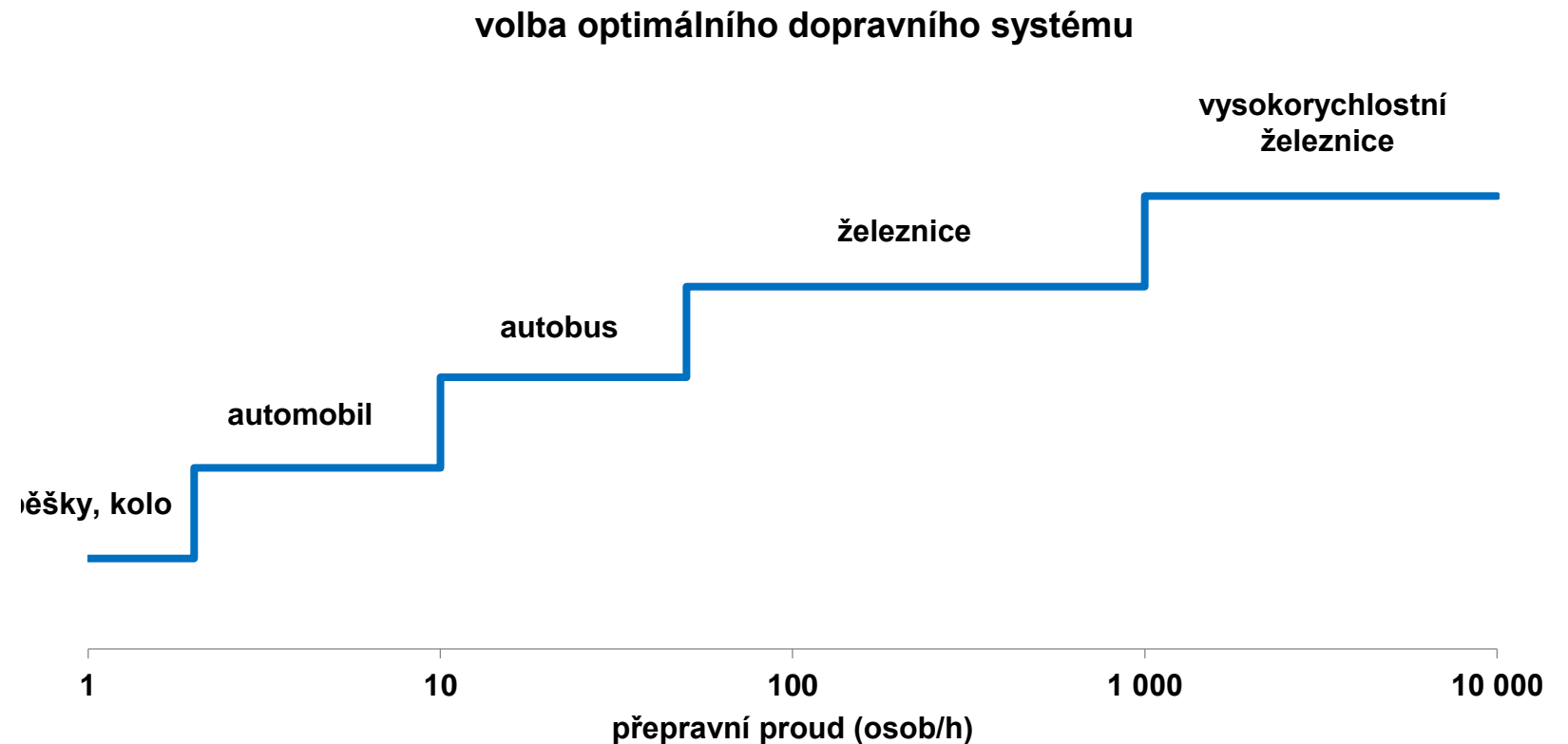
Řízení výběru dopravního módu intenzitou přepravy

- Slabá přepravní poptávka: preference minimálních investičních nákladů (i za cenu dražšího provozu).
- Silná přepravní poptávka: preference minimálních provozních nákladů (i za cenu dražších investic).



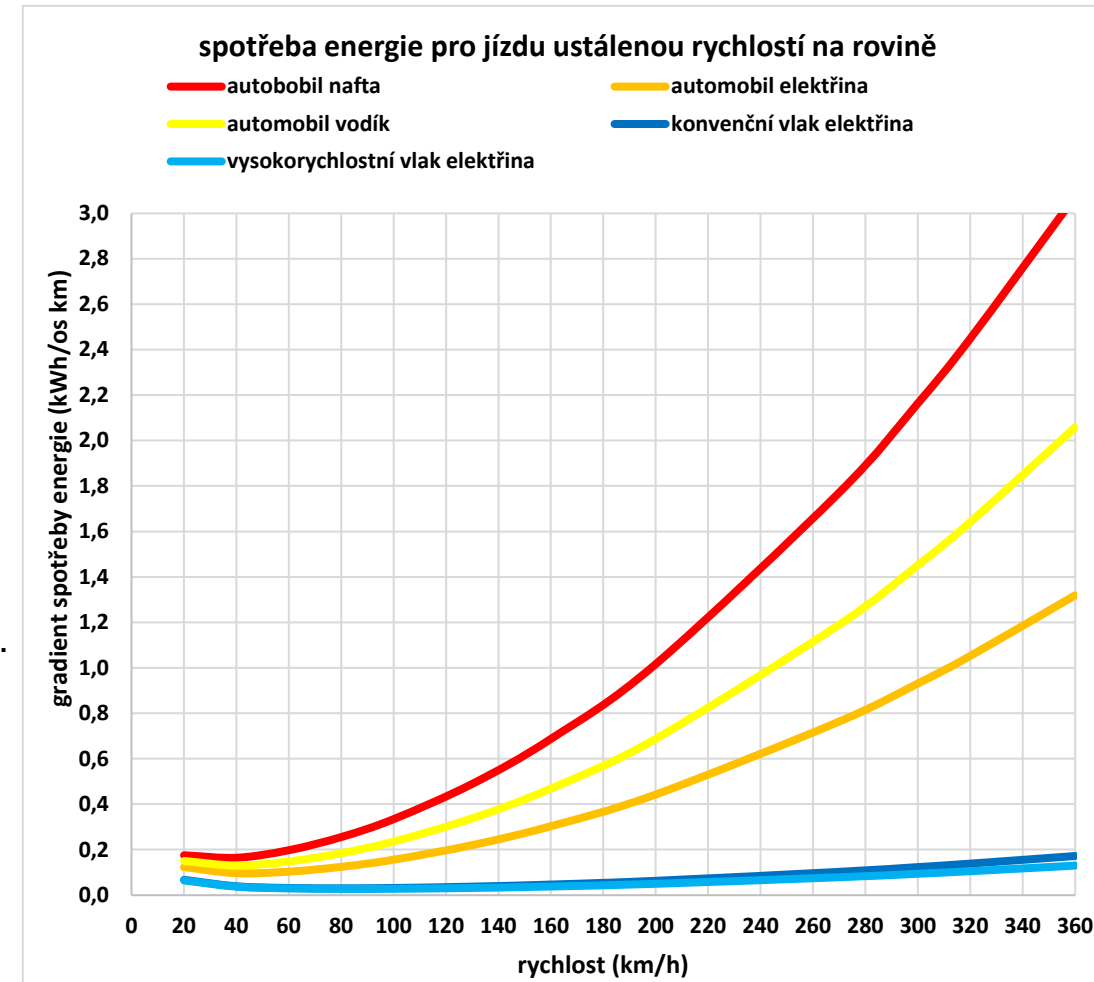
Nikoliv konkurence, ale kooperace dopravních módů

- 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.



Vlakem rychle, automobilem pomaleji

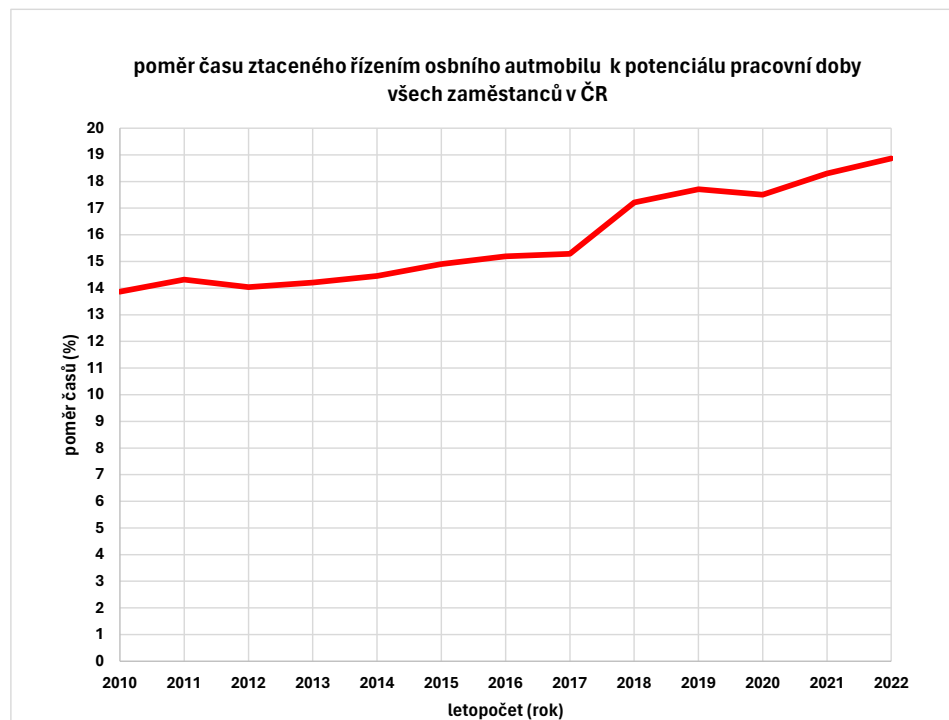
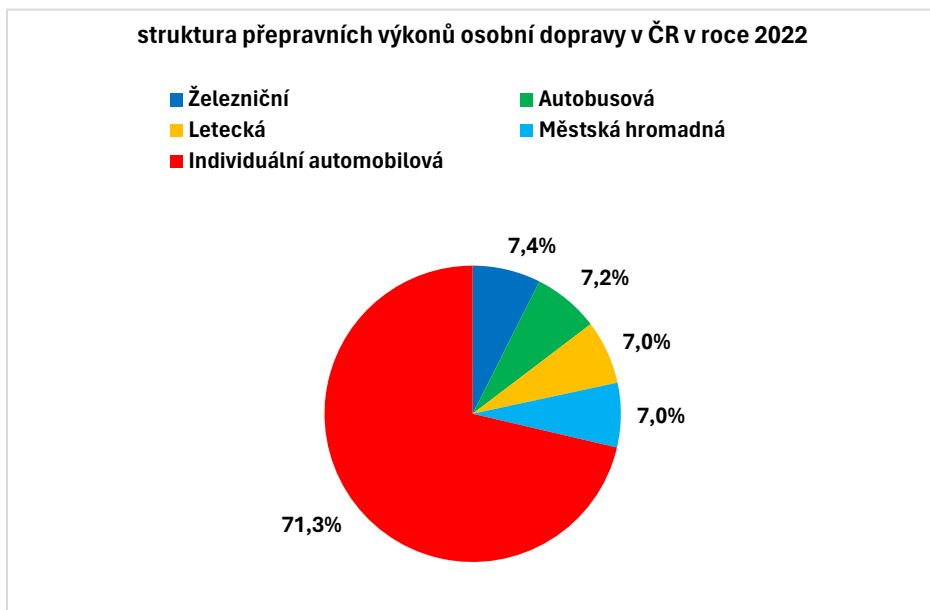
- Pro cestování mezi městy vzdálenými ve stovkách kilometrů je **automobil příliš pomalý, jízda rychlostí nejvýše 120 až 150 km/h vede k velmi dlouhé a únavné době cesty**. A to bez produktivního využití času, neboť při běžném obsazení automobilu 1,3 osobami je 77 % cestujících zaměstnáno řízením.
- K vytvoření funkční polycentrické struktury osídlení je potřeba, aby při jednodenních pracovních či volnočasových návštěvách měst vzdálených 400 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 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 aerodynamickým 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.



Potenciál přepravní poptávky

Nynější velké podíly vysoce energeticky náročných a na importu fosilních paliv závislých druhů dopravy, tedy individuální automobilové dopravy (71 %) a letecké dopravy (7 %), představují velký prostor, ve kterém se může uplatnit moderní rychlá a pohodlná železnice a městská hromadná doprava, zejména kolejová. Efektem této náhrady jsou zásadní úspory energie, eliminace emisí oxidu uhličitého, eliminace emisí zdraví škodlivých látek a odstranění závislosti mobility na platbách militantním zemím za import fosilních paliv.

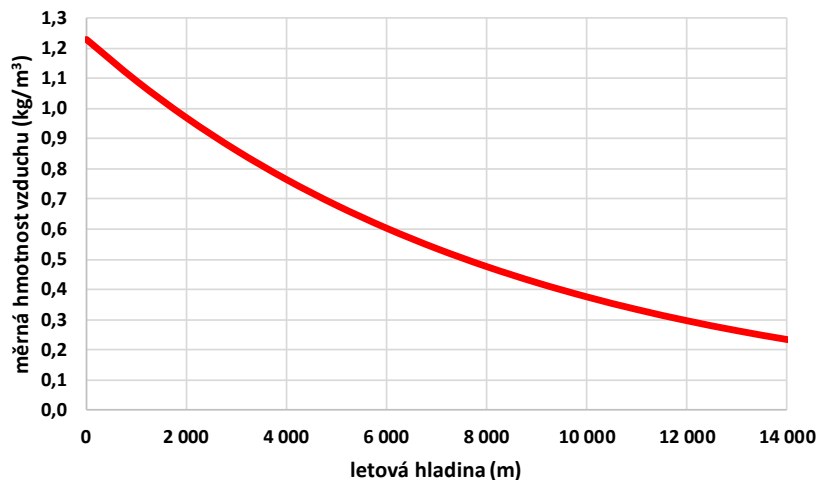
Ačkoliv jsou automobily vnímány jako prvek svobody, zaměstnávají řízením občany ČR po dobu 1,5 mld. hodin ročně. To je ekvivalent téměř 20 % ročního potenciálu pracovní doby všech zaměstnanců v ČR. **Zaneprázdnění obyvatelstva řízením automobilu je srovnatelné s šestidenním pracovním týdnem (práce i v sobotu).** To je v hierarchii hodnot mladé generace jeden z důvodů, proč netouží po vlastnictví a řízení osobního automobilu, proč preferují jízdu veřejnou hromadnou dopravou, při které neztrácejí čas řízením a mohou se věnovat virtuální komunikaci.



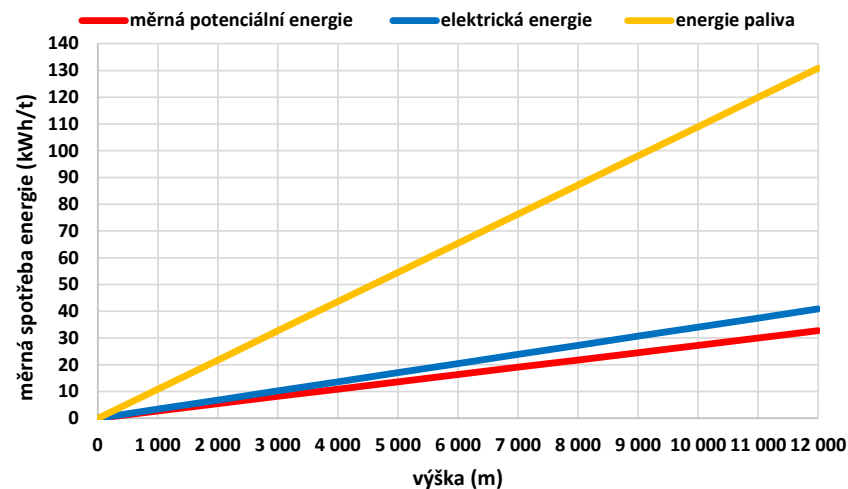
Energetická náročnost letecké dopravy

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

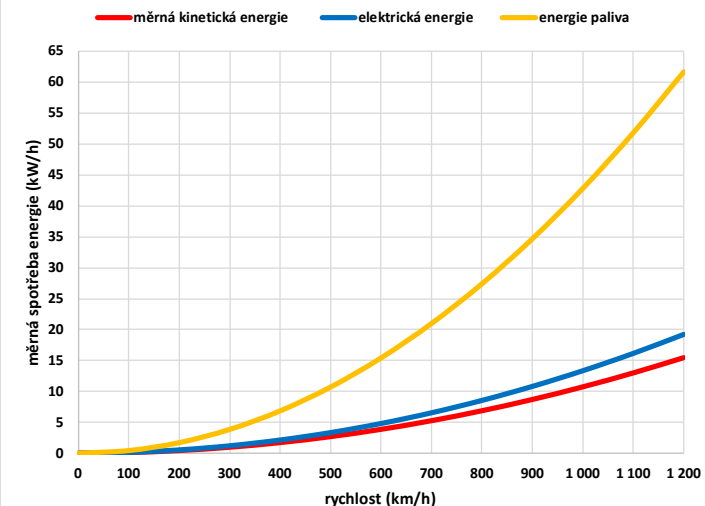
měrná hmotnost vzduchu



měrná spotřeba potenciální energie

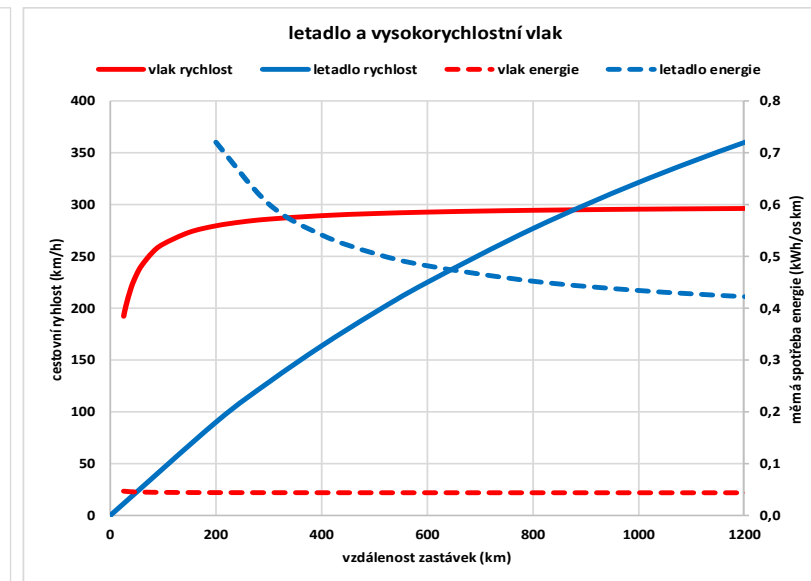
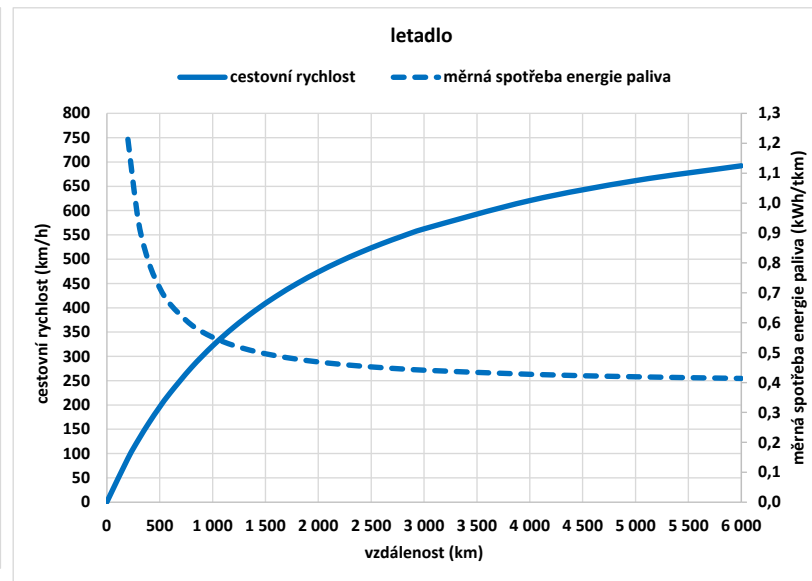
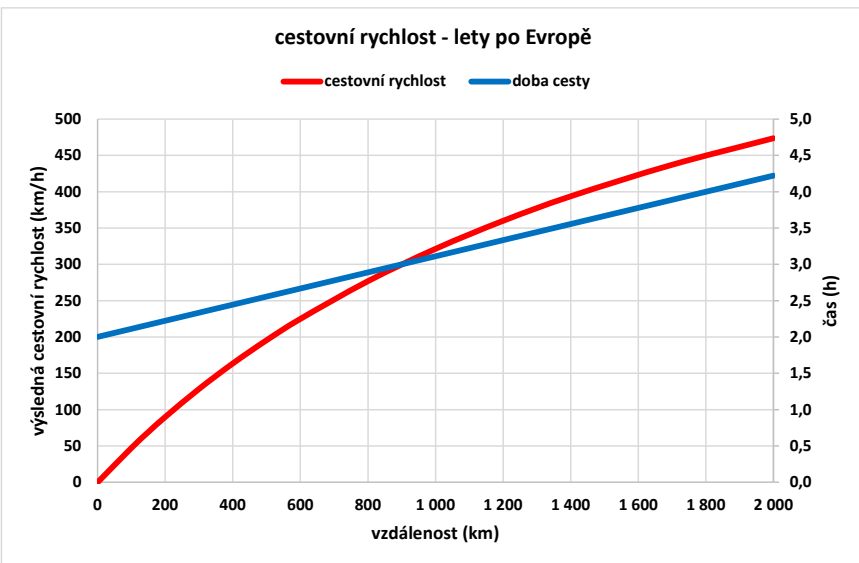


měrná spotřeba kinetické energie



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.

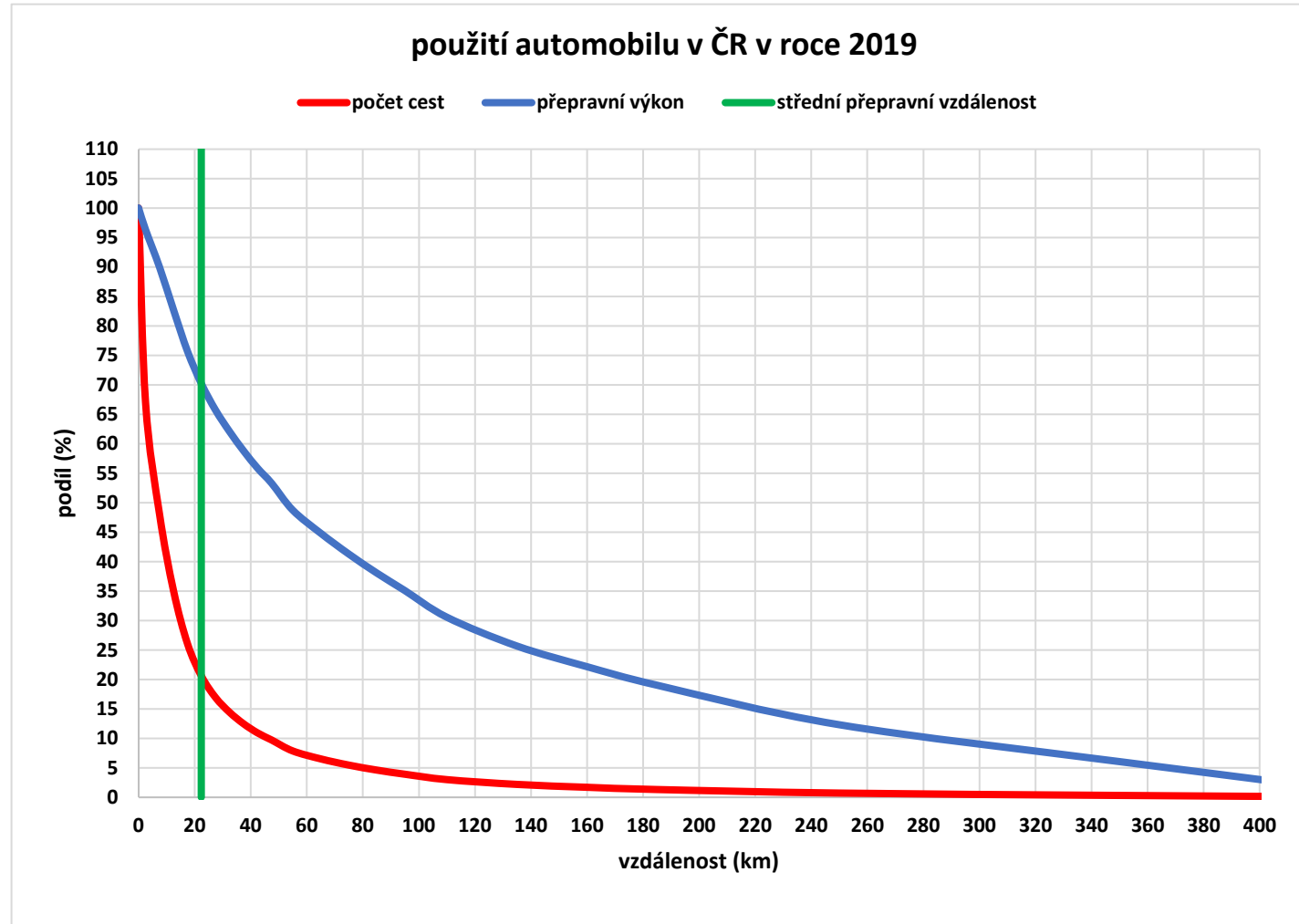


Typické použití osobního automobilu v ČR

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.



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**. Na rozdíl od doplňování pohonných hmot nevyžaduje jízdu k čerpací stanici a ztrátu času tankováním.

- **průměrný automobil parkuje v ČR 23 hodin a 23 minut denně,**
- **i z obyčejné jednofázové zásuvky 230 V 16 A lze za 8 hodin nízkého nočního tarifu nabít elektrický automobil na jízdu ba 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.

Infrastrukturní energetické zázemí pro bezemisní vozidla

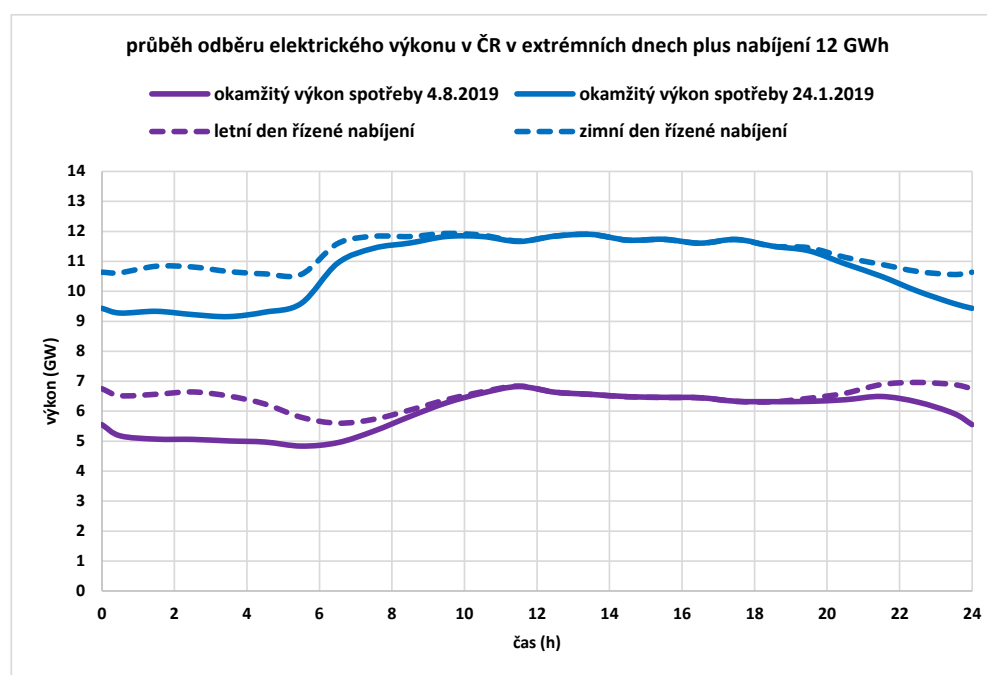
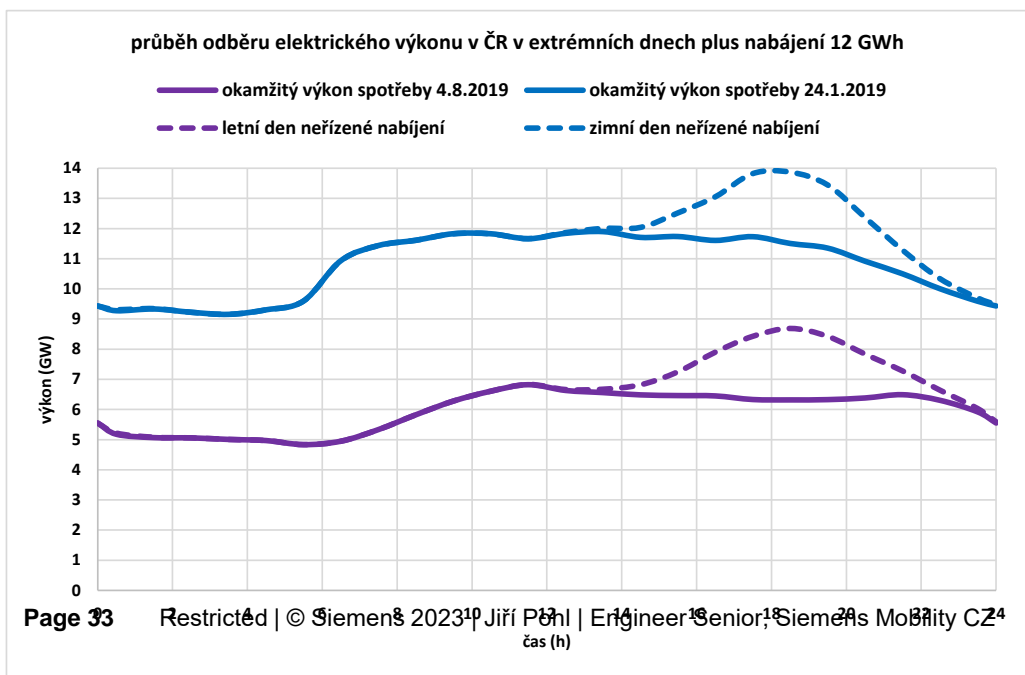
příklad: nabíjení osobních automobilů

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 37 minut a ujede 29 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 23 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.



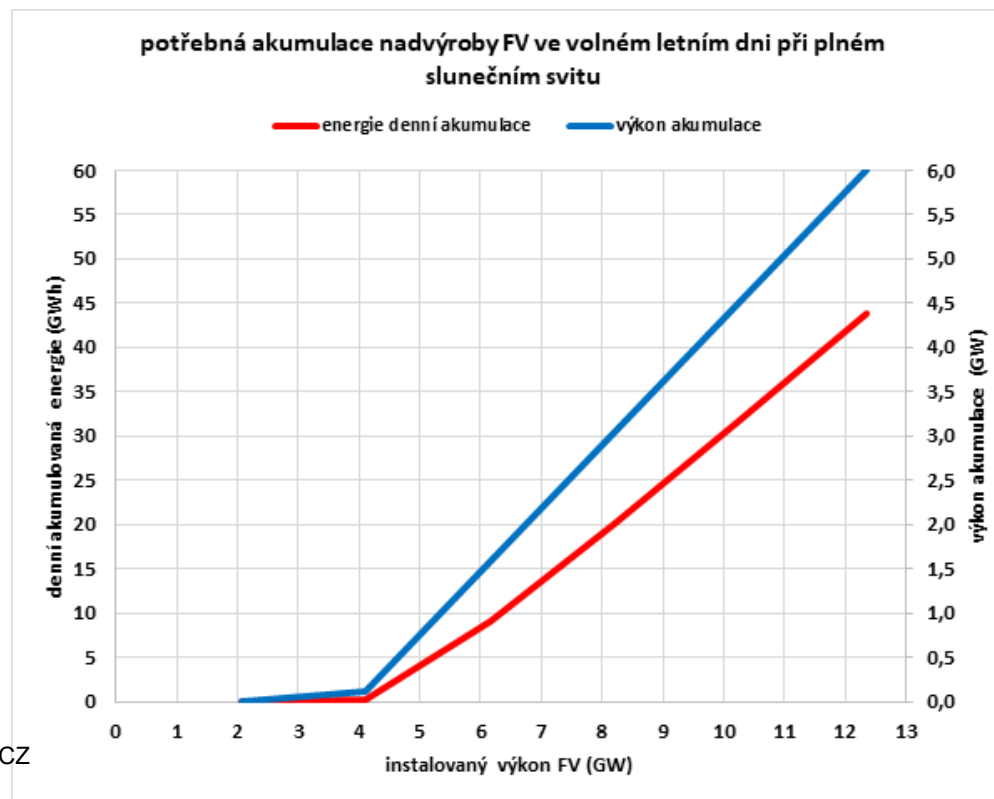
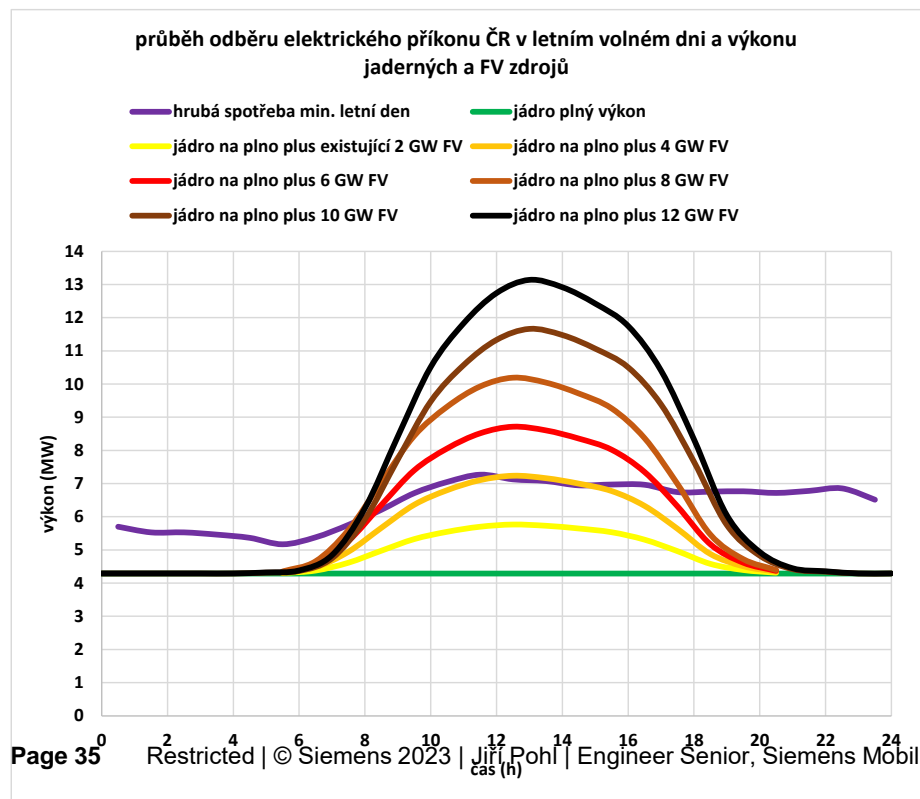
Bydlení a nabíjení

- 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 (3,7 kW), například pro zahradní sekačku trávy, respektive si ji mohou levně pořídit. Pochopitelně jim **optimálně poslouží wallbox 3 x 400 V, 16 A (11 kW)**.
- 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). Tito 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, nesvítí, tak lze pro jejich byt rezervovaný příkon operativně využít k nabíjení zaparkovaných automobilů. K tomu je potřebné:
 - **vybavit všechna parkovací místa venkovními AC zásuvkami**, 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“). Cena elektrice parkovacích míst je zlomkem ceny pozemků užívaných k parkování.
 - **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).

Součinnost elektrických automobilů a FV elektráren

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

Po chybné zákonem způsobené prodlevě 12 let 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. Jednou z účinných možností je nabíjení akumulátorů parkujících vozidel.



Domácí FV elektrárny a elektrické autmobily

Při běžném provozu (nájezd desítky km/den) vyrovná akumulátor elektrického automobilu (dimenzovaný na dojezd ve stovkách km) i několikadenní fluktuace slunečního záření.

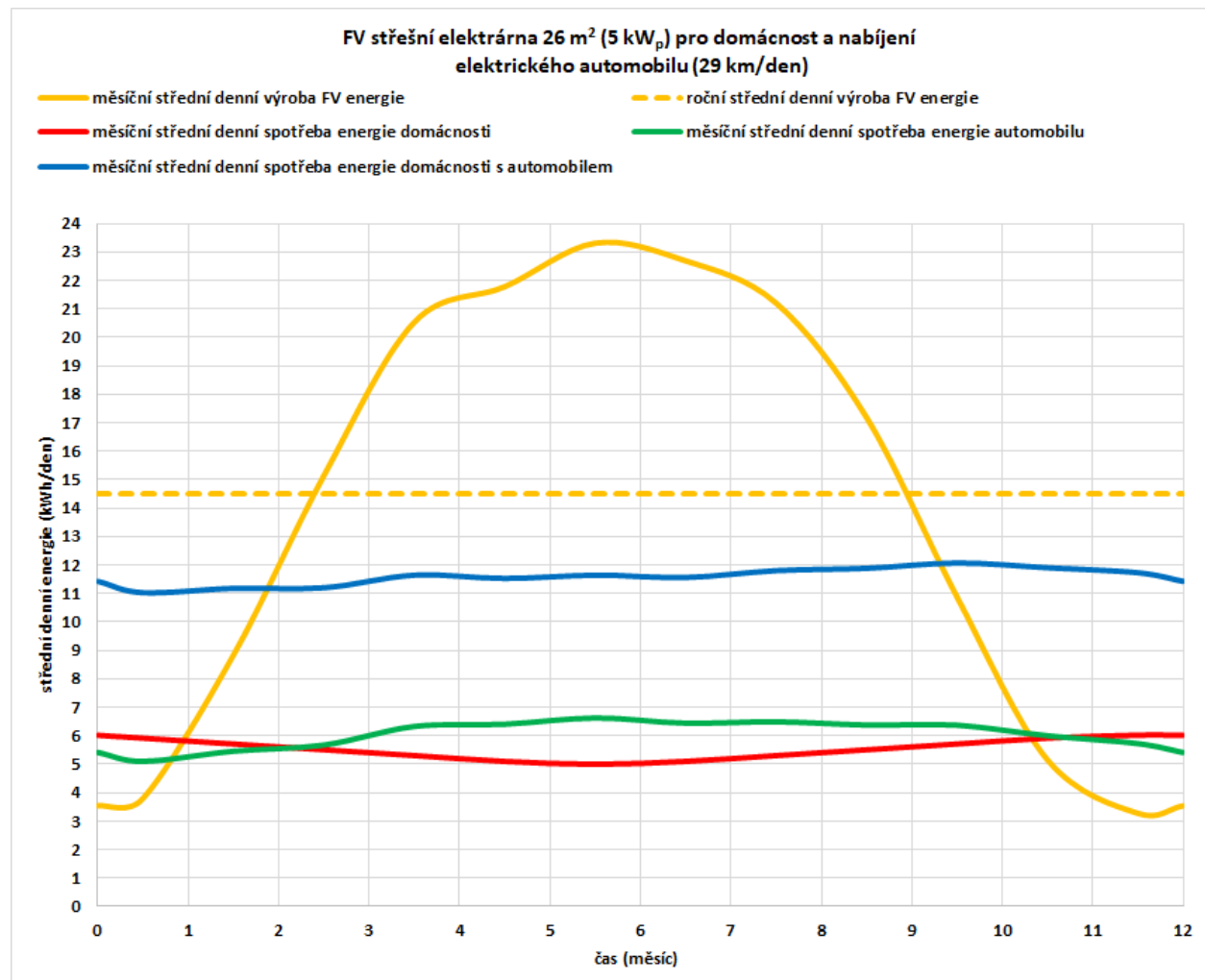
Standardní střešní FV elektrárna o špičkovém výkonu 5 kW pokryje provoz rodinného domu i běžný provoz automobilu od března do září.

To má zásadní vliv na měrnou emisivitu k nabíjení používané elektrické energie, která je důležitá pro celkové emise CO₂ v průběhu života automobilu.

Spontánně vzniklo přirozené ekonomicky efektivní chování obyvatelstva. Lidé se velmi rychle naučili chytře kombinovat tři nové věci:

- domácí FV elektrárny,
- domácí nabíjení elektrických automobilů,
- nový standard práce (využívání home office).

Podobně jako naši předkové řídí svůj pracovní týden podle slunečního svitu.



Součinnost elektrického automobilu a střešní FV elektrárny

Po 12 letech stagnace, způsobené chybným zákonem, dochází v ČR, podobně jako v ostatních zemích, k intenzivnímu budování FV elektráren. To však naráží na dva limity:

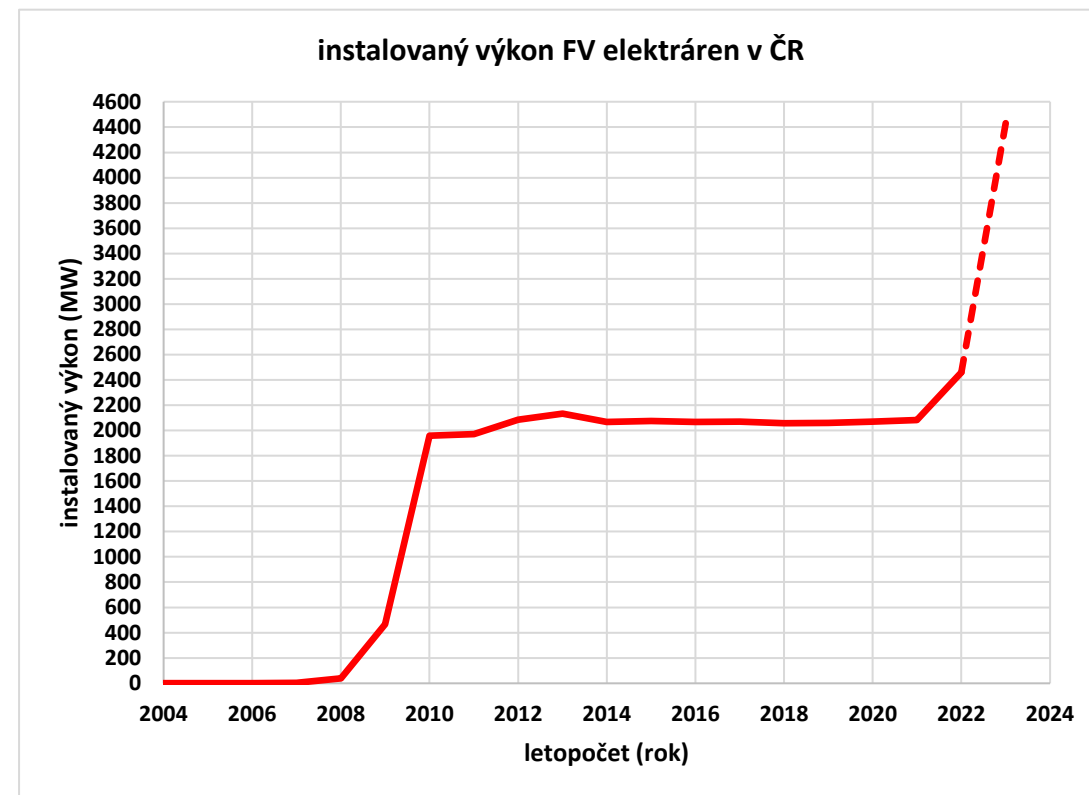
- distribuční sítě nejsou dimenzovány pro tak velký počet FV elektráren,
- chybí spotřeba pro tak velký počet FV elektráren

Distribuční sítě jsou desítky let v obytných oblastech dimenzovány na zatížení Štědrého večera: všichni jsou doma, svítí sledují televizi a fritují, spotřeba zhruba 2 kW na obytnou jednotku.

Distribuční sítě však nejsou v obytných oblastech dimenzovány na FV zatížení letního poledne: všechny domky dodávají 5 kW a není téměř žádná spotřeba. Tradiční dimenzování distribučních sítí limituje možný výkon respektive počet instalací střešních FV elektráren.

Nabíjení parkujících elektrických automobilů odlehčuje distribuční síť a tím umožňuje více domácnostem využívat výhod vlastní výroby elektrické energie střešní FV elektrárnou.

Při kapacitě 50 kWh to představuje 6,3 milionů v ČR registrovaných osobních automobilů akumulární schopnost téměř 320 GWh. To je energetický ekvivalent stonásobku PVE Dlouhé stráně (3,2 GWh).



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.**

K úspěšnému přechodu na bezemisní mobilitu je však nutno udělat pořádek v regulatorních opatřeních, která diskriminují elektrickou vozbu:

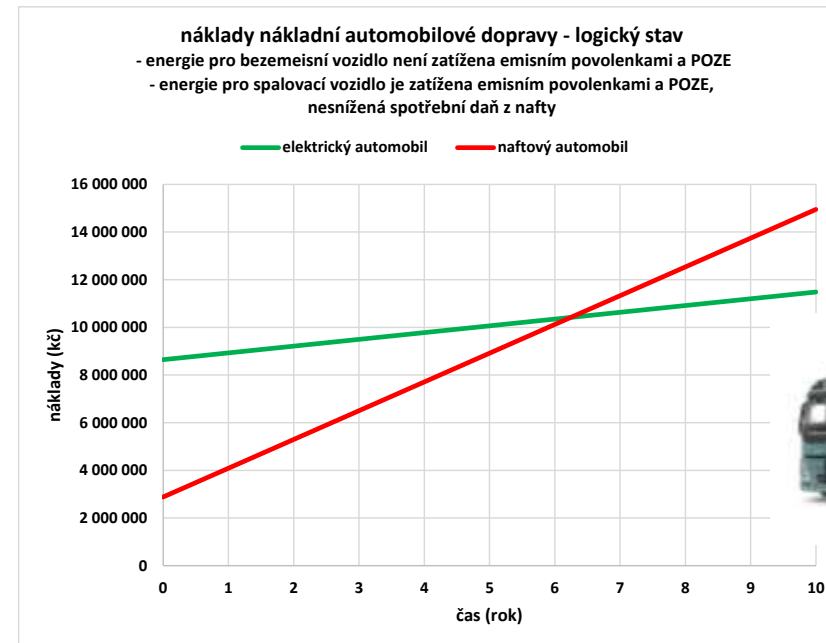
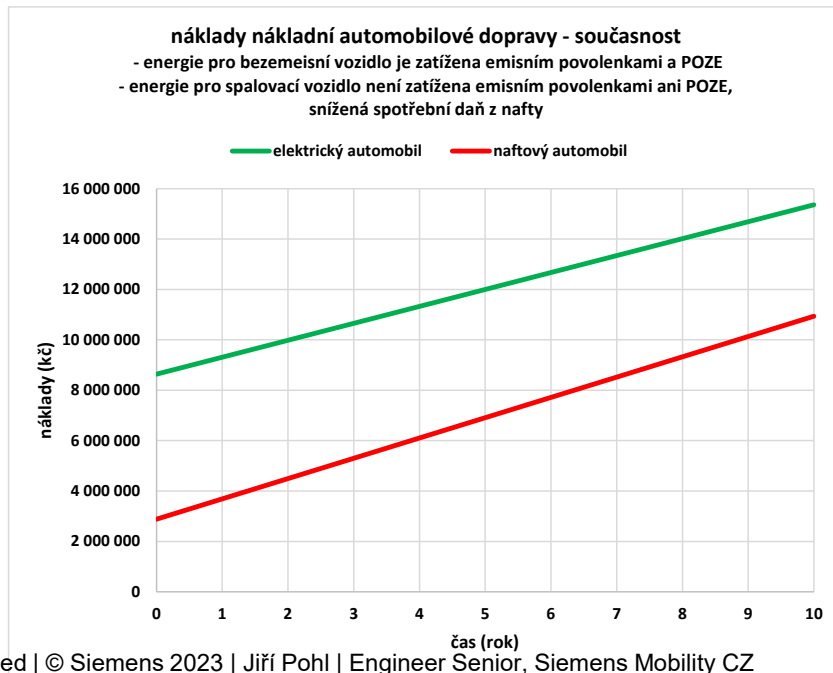
- emisní povolenky zvyšují tržní cenu elektrické energie na 3násobek, ale v ceně motorové nafty a automobilového benzínu emisní povolenky dosud zahrnuty nejsou,
- elektrická energie je (mimo drážní dopravu) zatížena platbou POZE, avšak v ceně motorové nafty a automobilového benzínu dosud platba POZE zahrnuta není,
- ačkoliv externí náklady způsobené použitím motorové nafty a automobilového benzínu ve vozidlech převyšují výnos ze spotřební daně z minerálních olejů, bezdůvodně přetrvává snížené spotřební daně u motorové nafty.

Vliv regulatorních opatření v energetice na rozvoj multimodální bezemisní mobility příklad: první/poslední míle kombinované dopravy, 2 x 2 x 50 km/den; GCW 44 t

Přepravy ISO kontejnerů z přístavů v Severním moři do ČR jsou zajišťovány bezemisními železnicemi. V terminálech je překládají elektrické jeřáby na naftové nákladní automobily, které je rozvázejí po okolí. Stav techniky již umožňuje naftové automobily nahradit elektrickými, pomalu přes noc nabíjenými ze zásuvky 3AC 400 V 63 A.

Elektrický nákladní automobil je však nyní třikrát dražší než naftový. Rozhodující jsou náklady životního cyklu (LCC). Pokud bude jezdit elektrický automobil výrazně levněji než naftový, tak si jej nákladní dopravci koupí. Pokud však nebude jezdit elektrický automobil výrazně levněji než naftový, tak si jej nákladní dopravci nekoupí, automobil na sebe musí vydělat.

K docílení rentability investice do dražšího eklektického automobilu je potřeba **změnit regulatorní opatření v oblasti cen energií, aby nediskriminovaly bezemisní elektrickou vozbu vůči fosilním automobilům.**



Závěr

Základem multimodální mobility osob i věcí je **vzájemná kooperativnost a komplementárnost jednotlivých druhů dopravy** tak, aby každý dopravní mód byl používán tam a jenom tam, kde pracuje efektivně.

- individuální automobilová doprava je pro svoji operativnost a flexibilitu vhodná k zajišťování slabých a nepravidelných přepravních proudů, pro které se nevyplatí zřizovat veřejnou hromadnou dopravu,
- železniční doprava je pro svoji vysokou výkonnost a nízkou energetickou náročnost vhodná k zajišťování silných a pravidelných přepravních proudů,
- letecká doprava je pro svoji rychlost a volnost vhodná pro dálkové (zaoceánské) lety, nikoliv pro lety nad pevninou na vzdálenost několika set km.

Důležitou součástí multimodální mobility osob i věcí jsou **přestupní/překládkové terminály**, které lidem i věcem umožňují přestupními vazbami **kombinovat různé dopravní systémy**, aby svojí cestu zvládli s nejnižší spotřebou času i energie.

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