

Dostupná inovativní řešení v oblasti energetiky dopravy

Konference TOP EXPO: Trendy české a evropské energetiky
Praha, 10. 11. 2020

Jiří Pohl, Siemens Mobility, s.r.o.

člen Výboru pro udržitelnou energetiku Rady vlády pro udržitelný rozvoj
člen Výboru pro udržitelnou dopravu Rady vlády pro udržitelný rozvoj

Nové vedení EU v čele s Urschulou von der Leyen vydalo v závěru loňského roku významný programový dokument:

Sdělení Evropské komise COM (2019) 640 11. prosince 2019 - Zelená dohoda pro Evropu

„Toto sdělení představuje Zelenou dohodu pro Evropskou unii a její občany. Opětovně formuluje odhodlání Evropské komise řešit problémy způsobené změnou klimatu a životního prostředí, což je definiční úkol této generace.

- Atmosféra se otepluje a klima se každým rokem mění.
- Z osmi milionů druhů žijících na této planetě je milion ohrožen vyhynutím.
- Dochází ke znečišťování a destrukci lesů a oceánů.

Zelená dohoda pro Evropu je odpovědí na tyto výzvy. Jedná se o novou strategii růstu, jejímž cílem je transformovat EU na spravedlivou a prosperující společnost s moderní a konkurenceschopnou ekonomikou efektivně využívající zdroje, která **v roce 2050 nebude produkovat žádné emise skleníkových plynů** a ve které bude hospodářský růst oddělen od využívání zdrojů.“

Dopravě je v Green dealu věnována samostatná kapitola:

2.1.5. Urychlení přechodu k udržitelné a inteligentní mobilitě

Na dopravu **připadá čtvrtina skleníkových plynů produkovaných v EU a její podíl stále roste**. K dosažení klimatické neutrality je **nezbytné do roku 2050 emise z dopravy snížit o 90 %**. K tomuto snížení musí přispět jak silniční, tak i letecká, železniční a vodní doprava. Dosažení udržitelné dopravy znamená upřednostnit uživatele a nabídnout jim cenově dostupnější, dosažitelnější, zdravější a čistší alternativy k dopravním prostředkům, na které jsou v současnosti zvyklí. Této otázce i veškerým zdrojům znečištění se bude věnovat strategie pro udržitelnou a inteligentní mobilitu, kterou Komise přijme v letošním roce.

Multimodální doprava potřebuje silné oživení, které zvýší účinnost dopravního systému. **Prioritou bude přesunout významnou část vnitrozemské nákladní přepravy (75%), kterou dnes zajišťuje silniční síť, na železnici a vodní cesty**. K tomu budou třeba opatření k lepšímu řízení a navýšení kapacity železnic a vnitrozemských vodních cest, která Komise navrhne do roku 2021. Komise rovněž zváží stažení návrhu na revizi směrnice o kombinované dopravě a předložení nového návrhu, který z ní učiní efektivní nástroj pro podporu multimodální nákladní přepravy zahrnující železniční a lodní přepravu, včetně pobřežní námořní dopravy.

Základní teze:

- Automatizovaná a propojená **multimodální mobilita** bude spolu s inteligentními systémy řízení dopravy, které využívají digitalizaci, hrát stále větší úlohu.
- Dopravní systém a infrastruktura EU se přizpůsobí tak, aby podporovaly nové služby **udržitelné mobility**, které zejména v městských oblastech sníží dopravní zatížení a znečištění.
- Prostřednictvím svých nástrojů financování, jako je Nástroj pro propojení Evropy, Komise pomůže rozvíjet inteligentní systémy řízení dopravy a řešení pro **mobilitu jako službu**.
- Cena dopravy musí odrážet její **dopad na životní prostředí a zdraví**.

Základní teze:

- Množství **emisí z dopravy by se mělo radikálně snížit**, zejména ve městech,
- kombinace opatření by se měla zaměřit na emise, **dopravní přetížení měst a zlepšování veřejné dopravy**,
- komise navrhne **přísnější normy pro emise látek znečišťujících ovzduší** produkovaných vozidly se spalovacím motorem,
- komise zváží uplatňování systému evropského **obchodování s emisemi i na silniční dopravu**.

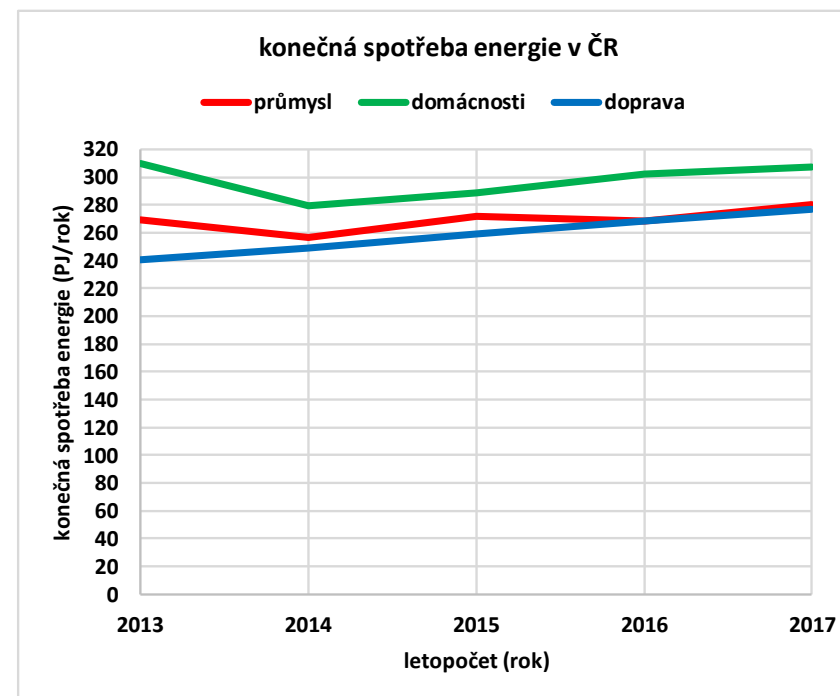
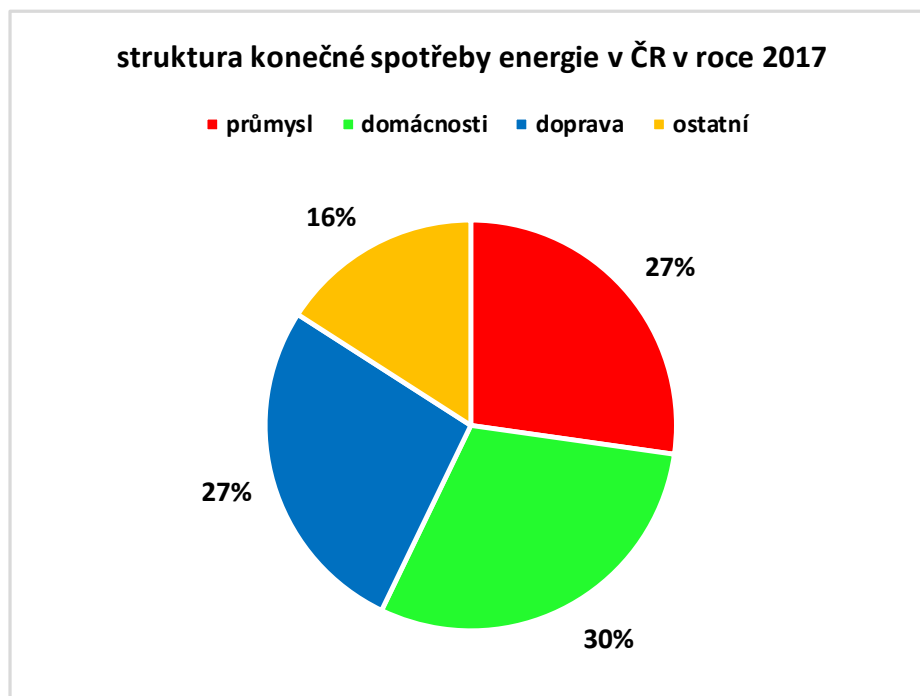
Struktura konečné spotřeby energie v ČR

Díky aplikací programů úspor energie se v ČR v posledních letech podařilo:

- navzdory intenzivně rostoucí průmyslové výrobě stabilizovat konečnou spotřebu energie v průmyslu,
- navzdory růstu kvality bydlení stabilizovat konečnou spotřebu energie v domácnostech.

Doprava stála stranou programového zvyšování energetické účinnosti, což se negativně projevilo:

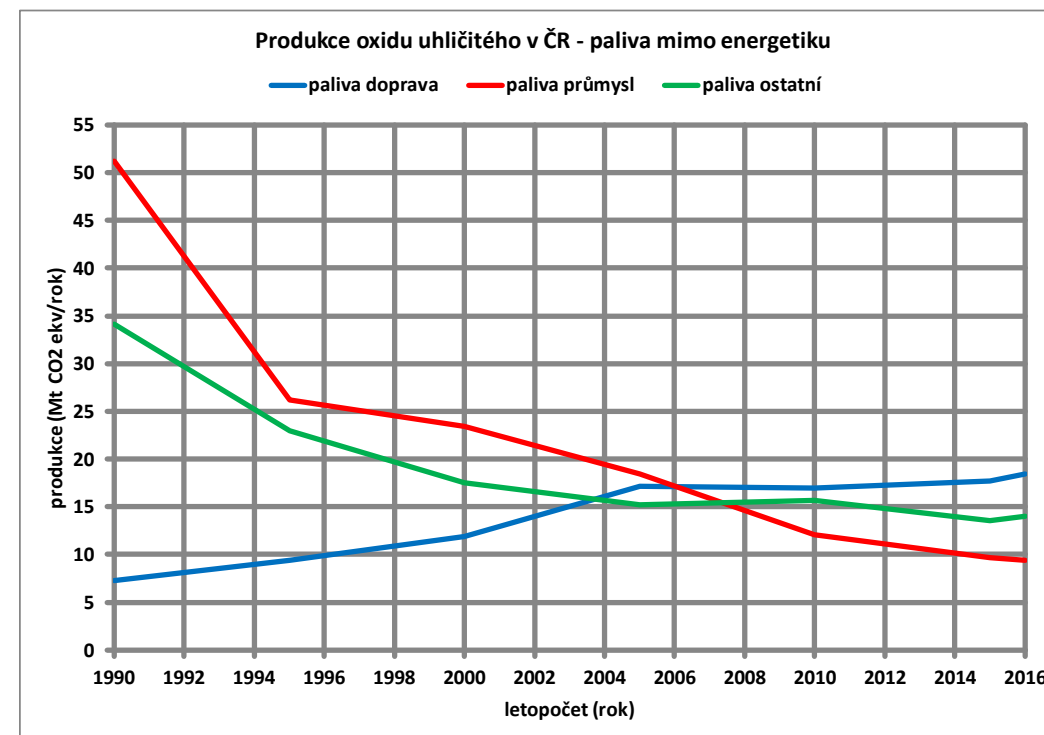
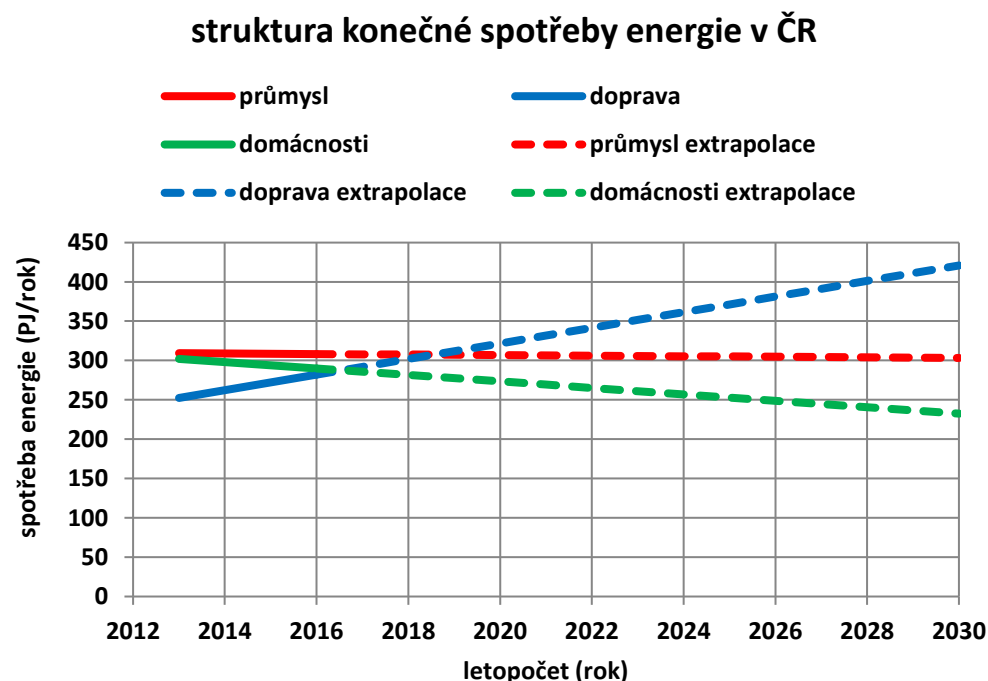
- trvalým každoročním růstem konečné spotřeby energie v dopravě téměř o 10 PJ/rok => doprava již ve spotřebě energie dohnala průmysl,
- trvalým každoročním růstem produkce CO₂ v dopravě o cca 0,7 mil. t CO₂/rok => doprava již produkuje 2x více CO₂ než průmysl.



Realita vývoje spotřeby energie a produkce oxidu uhličitého v ČR

Ke splnění cílů Vnitrostátního plánu ČR v oblasti energetiky a klimatu do roku 2030, zejména k docílení nových úspor energie 84 PJ/rok, je potřeba do státních programů zvyšování energetické účinnosti systematicky zapojit kromě průmyslu a domácností i dopravu.

Pokračováním dosavadních trendů růstu spotřeby energie a růstu produkce oxidu uhličitého by doprava negovala úspory energie i oxidu uhličitého dosahované v průmyslu a v domácnostech.



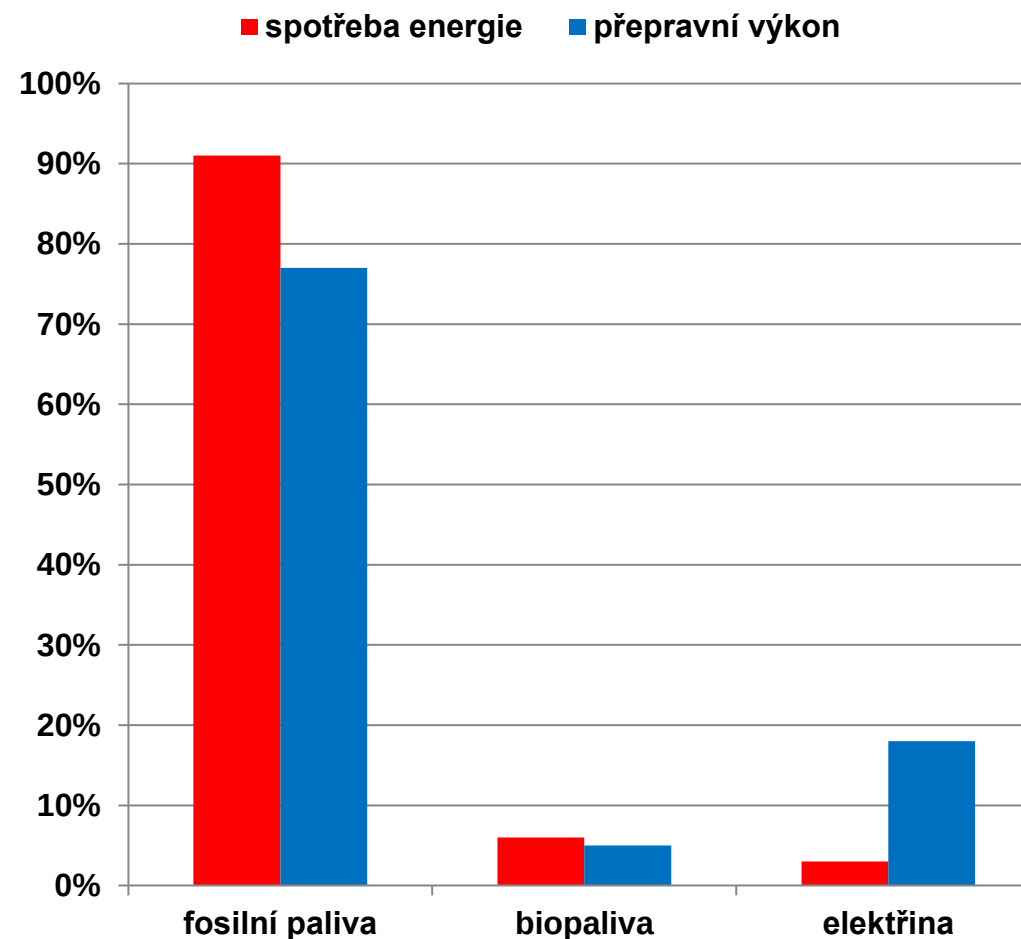
Spotřeba energie pro dopravu je velmi vysoká, činí v ČR 20 kWh/obyvatele/den.

Struktura spotřeby energie pro dopravu je v ČR velmi nezdravá:

- **fosilní paliva 93 % (zajišťují 78 % přepravních výkonů),**
- **biopaliva 5 % (zajišťují 4 % přepravních výkonů),**
- **elektřina 2 % (zajišťuje 18 % přepravních výkonů).**

Produkce CO₂ dopravou v ČR (aktuálně kolem 20 Mt/rok) již přesáhla ukládání CO₂ do dřeva ve všech lesích na území ČR (18 Mt/rok).

ČR: struktura spotřeby energie pro dopravu



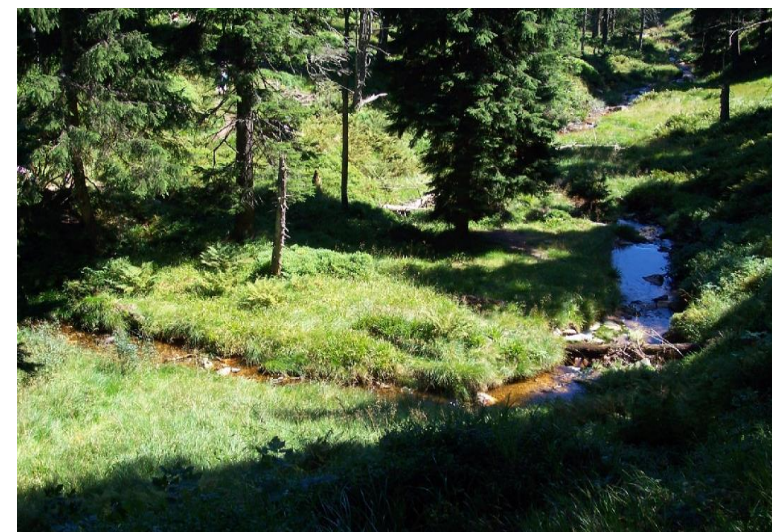
Kompenzace spalování fosilních paliv funkcí lesů



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. m ³ /rok
měrná roční produkce dřeva	6,8 m ³ /ha/rok,
měrná roční schopnost absorpce CO ₂	6,8 t/ha/rok,
roční schopnost absorpce CO ₂ lesů v ČR.....	18 Mt/rok



- ⇒ Pro ukládání oxidu uhličitého, aktuálně produkovaného dopravou v ČR v úrovni 20 Mt CO₂/rok spalováním 76 TWh/rok fosilních paliv, by bylo potřeba zalesnit dalších 2,9 mil. ha, tedy dalších 37 % z celkové plochy území státu. To by znamenalo více než zdvojnásobení plochy lesů v ČR.
- ⇒ Příroda pracuje usilovně, ale pomalu. Množství CO₂, které za rok odebere z ovzduší 1 ha lesa, vyprodukuje osobní automobil se spotřebou 5 litrů nafty na 100 km při ujetí 50 000 km

Energetická bilance dopravy v ČR

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.

- 30 % energie pracuje,
- 100 % energie paliva je nutno zaplatit,
- 100 % paliva se promění v CO₂ a mění klima,
- 100 % produkuje škodlivé látky (NO_x, PM, PAH, ...) a poškozuje lidské zdraví.

spotřeba energie v dopravě79 TWh/rok

spotřeba energie paliv v dopravě77 TWh/rok

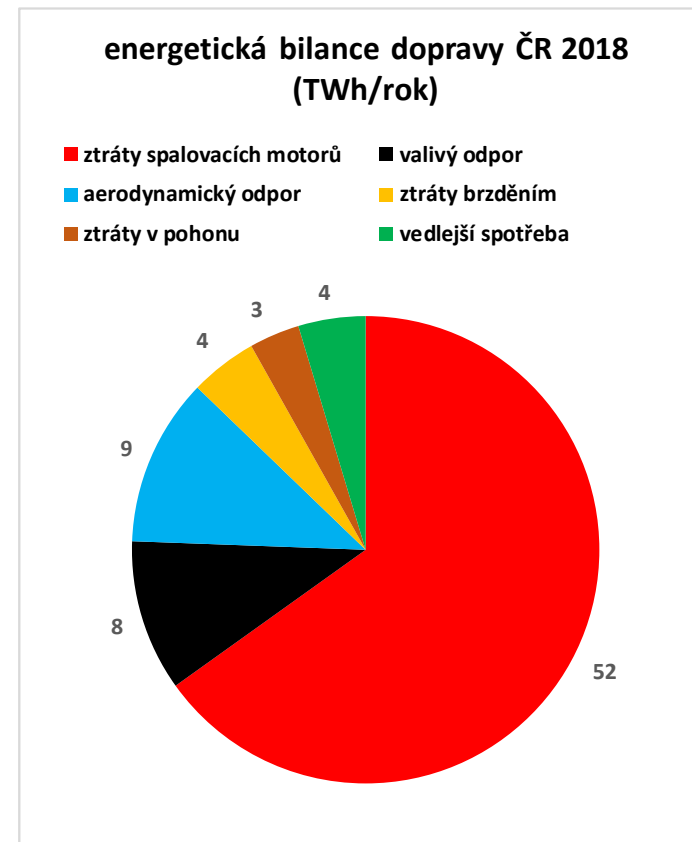
energie pro pohon vozidel z paliv 25 TWh/rok

ztrátové teplo v dopravě z paliv..... 52 TWh/rok

⇒ tepelný cyklus (tepelné stroje) 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 brzdovou 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 (25 TWh/rok).

Potenciál úspor energie v dopravě je značný

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

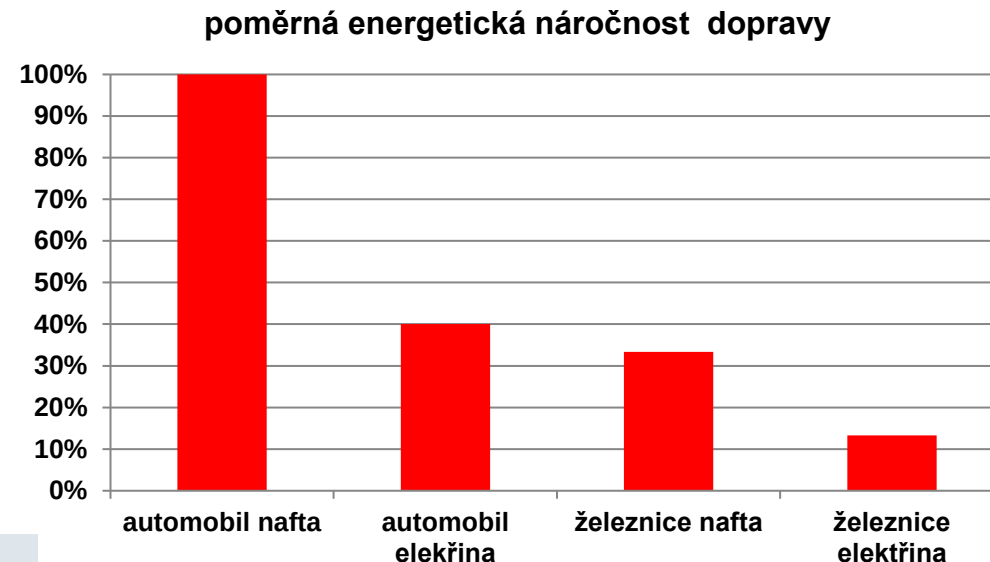
Jak při dopravě osob, tak při dopravě věcí jsou v ČR dominantním dopravním systémem spalovací automobily, které se vyznačují velmi vysokou spotřebou energie, a to v podobě fosilních paliv:

- 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).

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 %)



Úspory zdrojem energie

Nejefektivnějším zdrojem energie (a to bezemisním) jsou úspory energie.
Snižování konečné spotřeby energie zvyšováním energetické účinnosti je výnosnou investicí.

Doprava (největší a trvale rostoucí konečný spotřebitel energie v ČR)

Výchozí stav

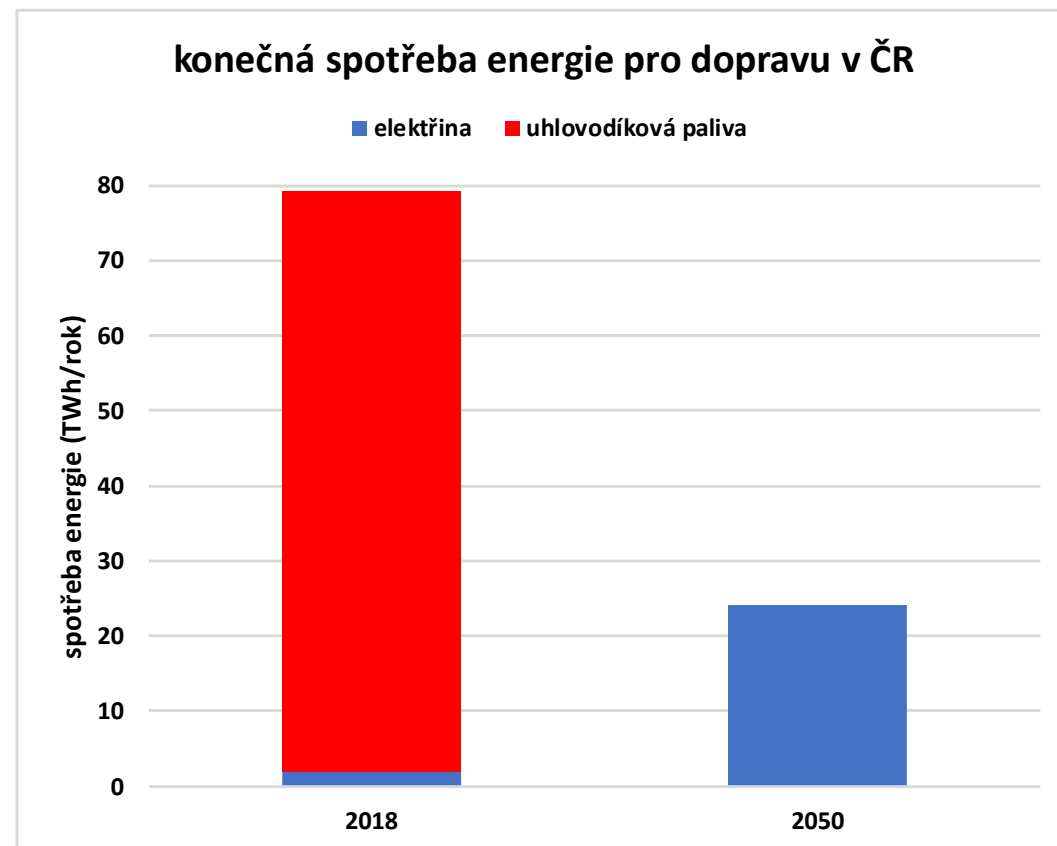
rok 2018: 130 mld. os km/rok, 60 mld. netto tkm/rok

- uhlovodíková paliva 77 TWh/rok, z toho 52 TWh/rok ztraceno ohřevem výfukových plynů a chladicí vody,
- elektřina 2 TWh/rok,
- celkem 79 TWh/rok

Cílový stav

rok 2050: 130 mld. os km/rok, 60 mld. netto tkm/rok

- uhlovodíková paliva: 0
- elektřina 24 TWh/rok (výhradně bezemisní zdroje),
- celkem 24 TWh/rok

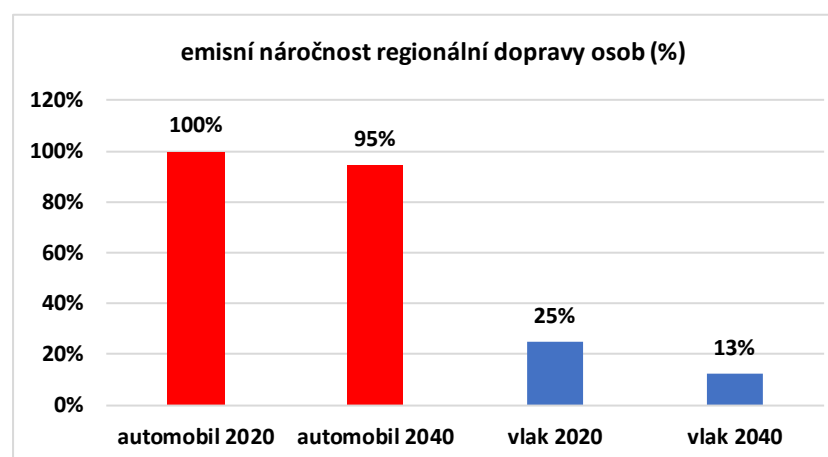
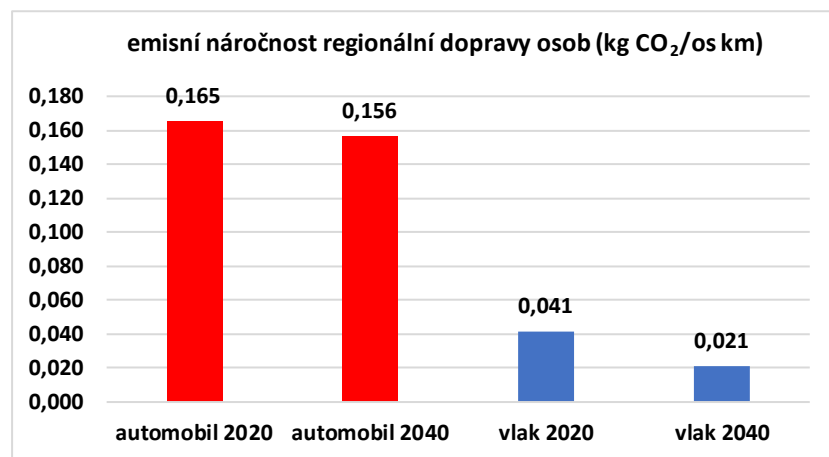
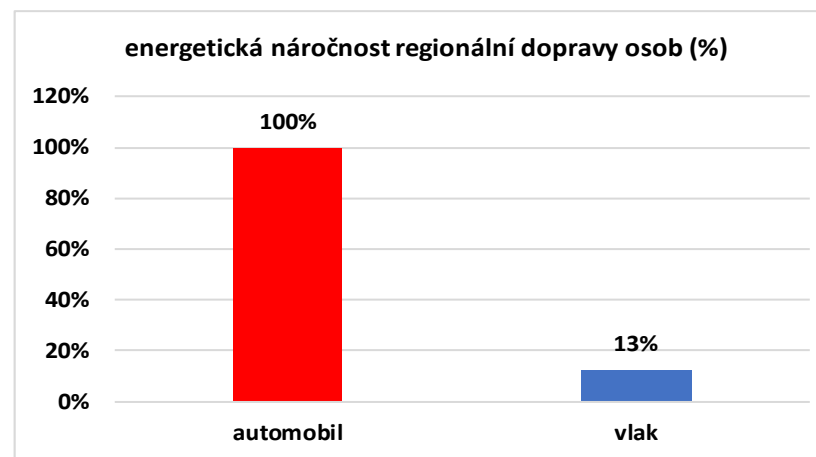
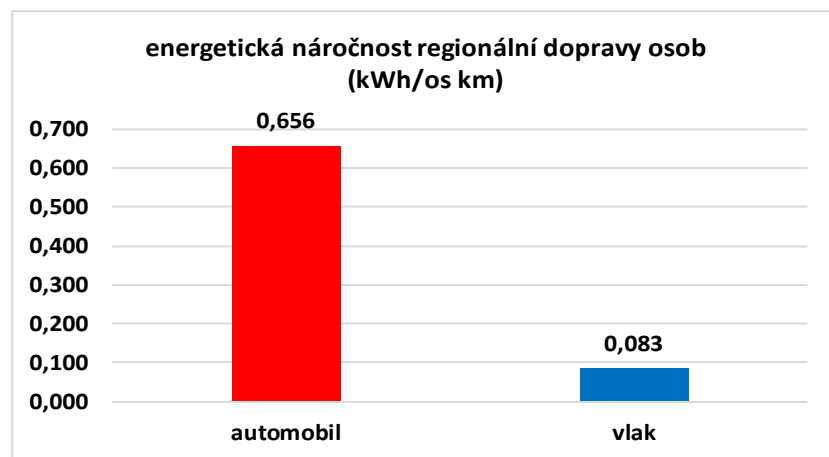


Dekarbonizace regionální osobní dopravy

Mezioborová spolupráce

Doprava: náhrada spalovacích motorů elektrickou trakcí

Energetika: náhrada fosilních elektráren obnovitelnými zdroji energie

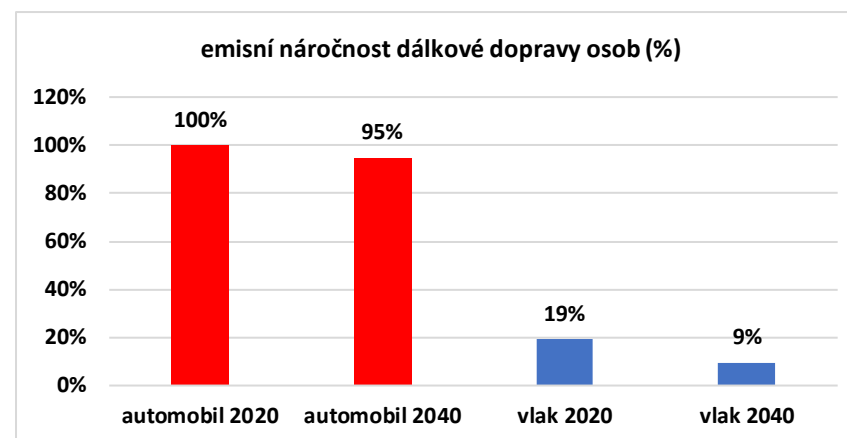
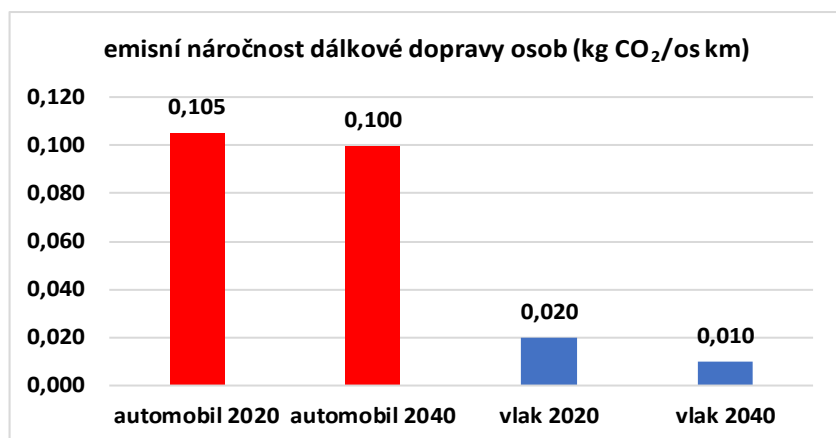
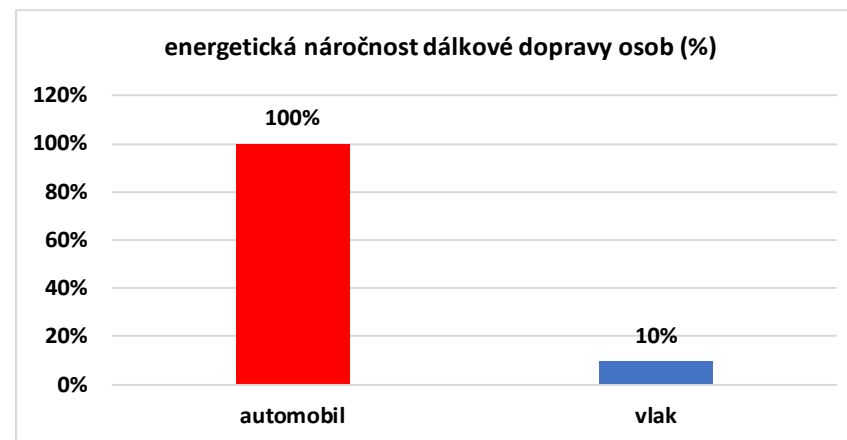
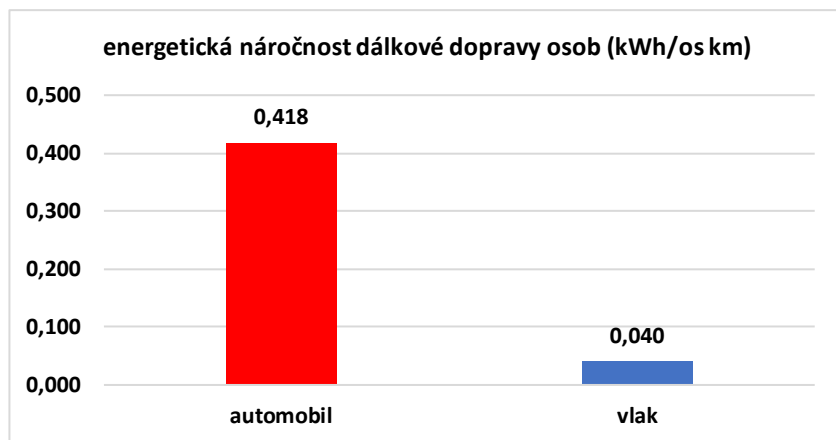


Dekarbonizace dálkové osobní dopravy

Mezioborová spolupráce

Doprava: náhrada spalovacích motorů elektrickou trakcí

Energetika: náhrada fosilních elektráren obnovitelnými zdroji energie

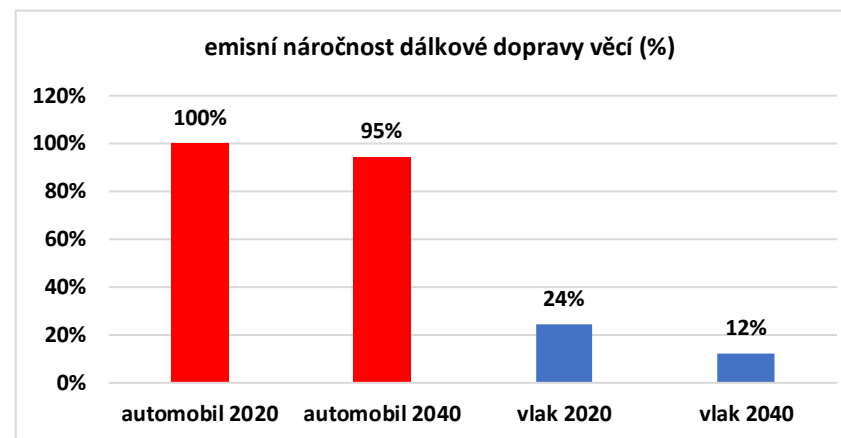
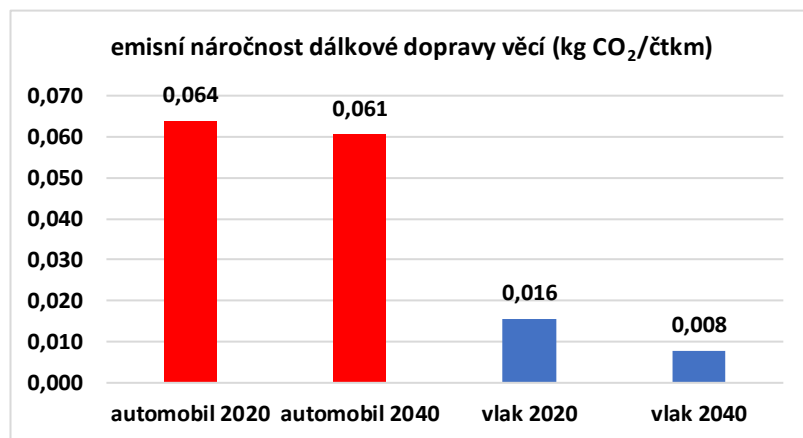
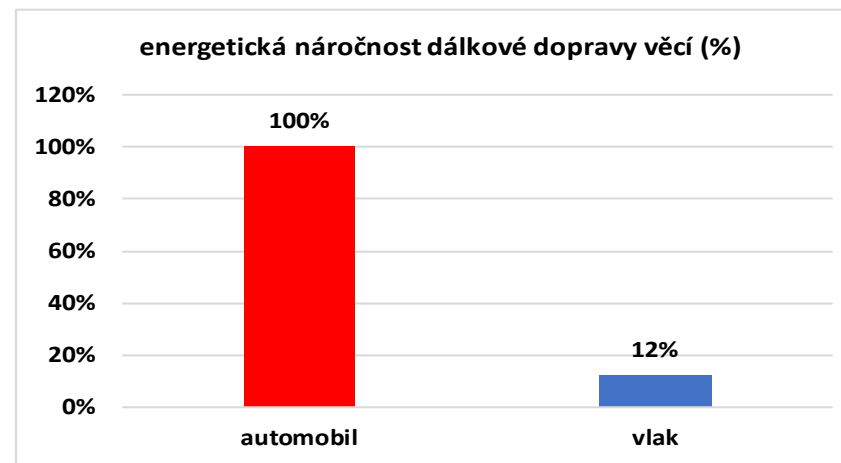
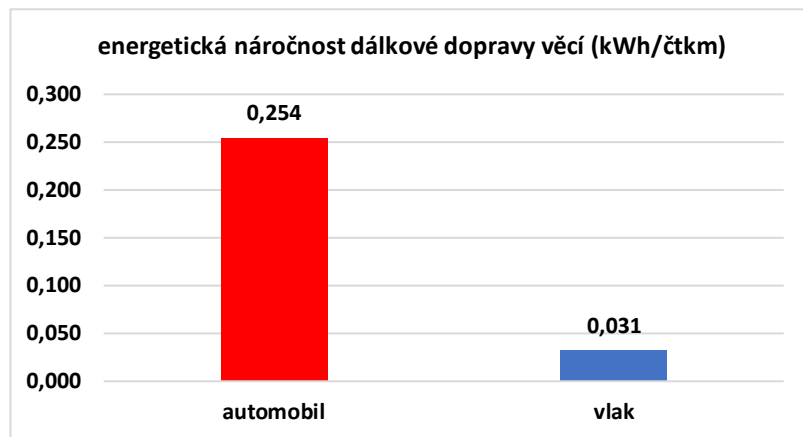


Dekarbonizace nákladní dopravy

Mezioborová spolupráce

Doprava: náhrada spalovacích motorů elektrickou trakcí

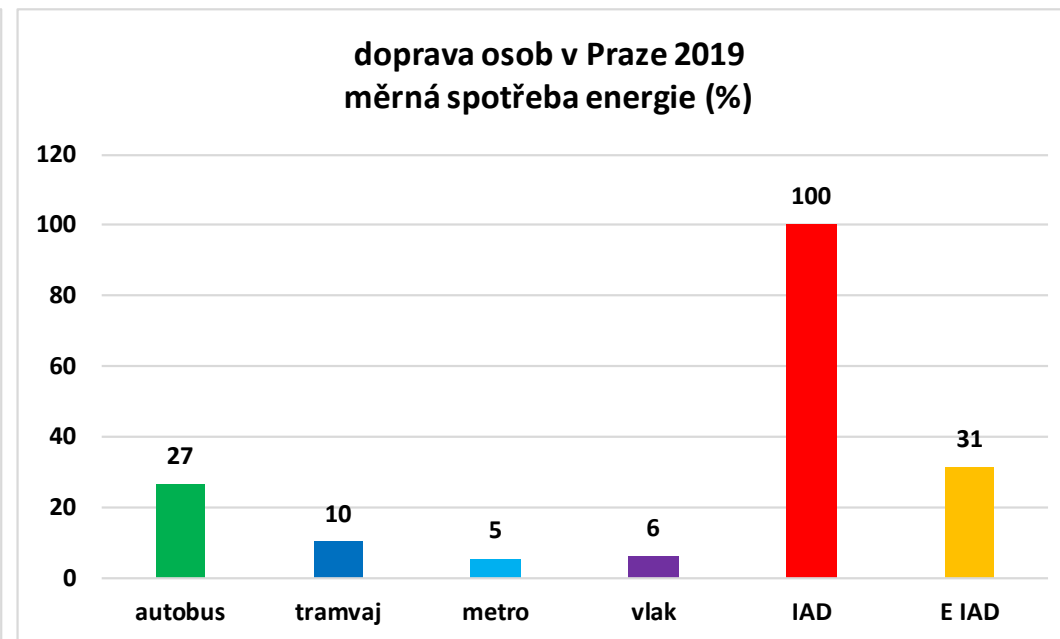
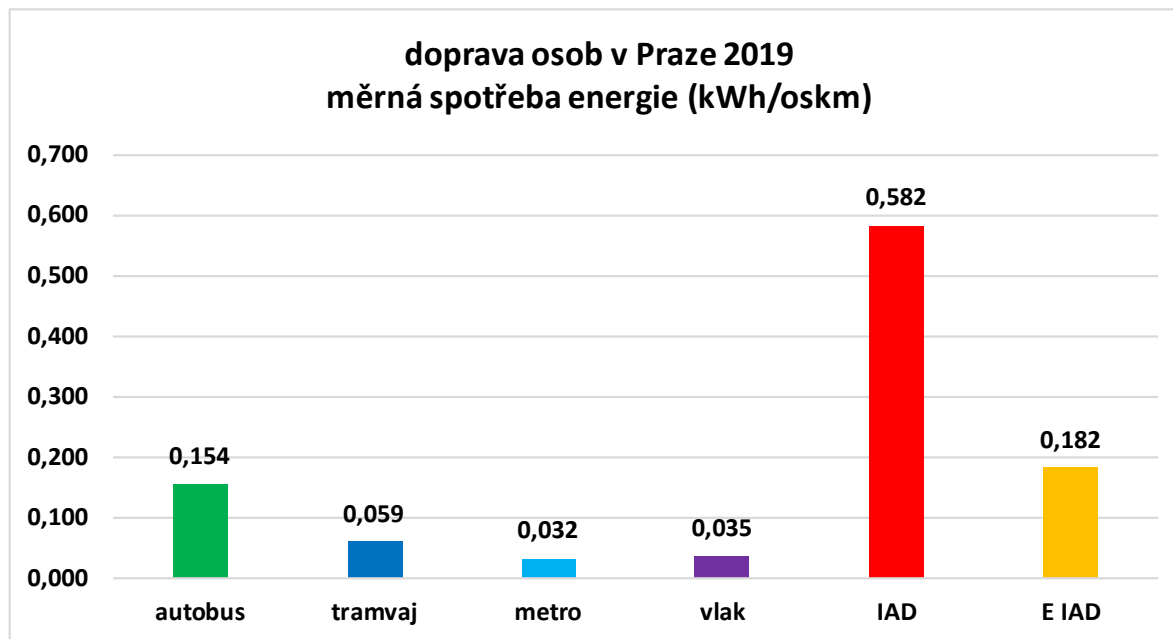
Energetika: náhrada fosilních elektráren obnovitelnými zdroji energie



Doprava osob v Praze – skutečnost roku 2019

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 %.

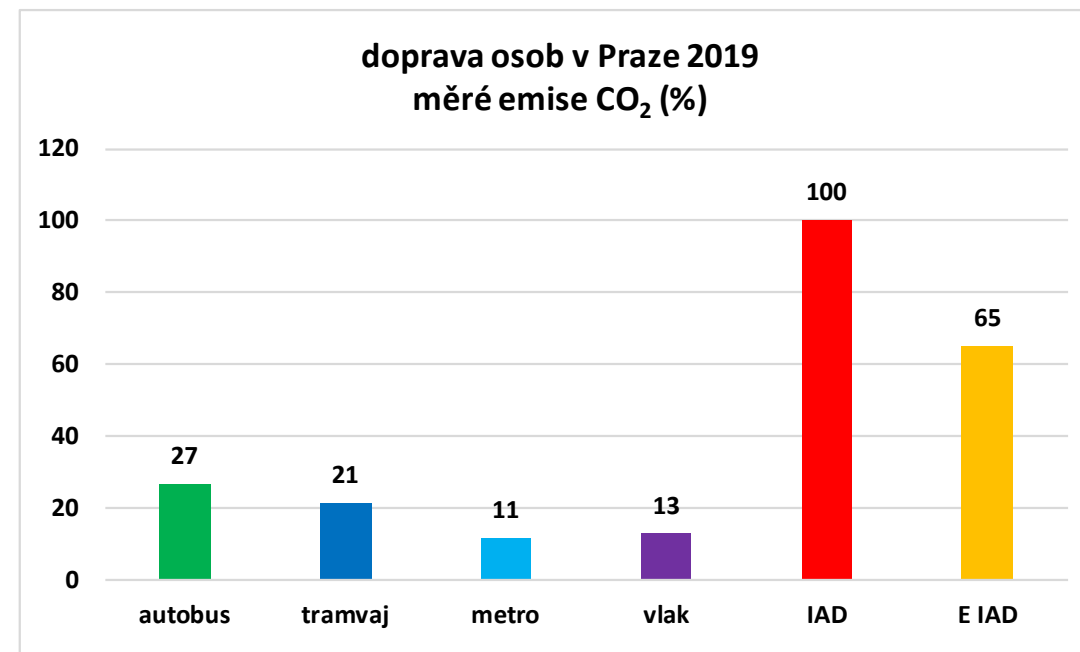
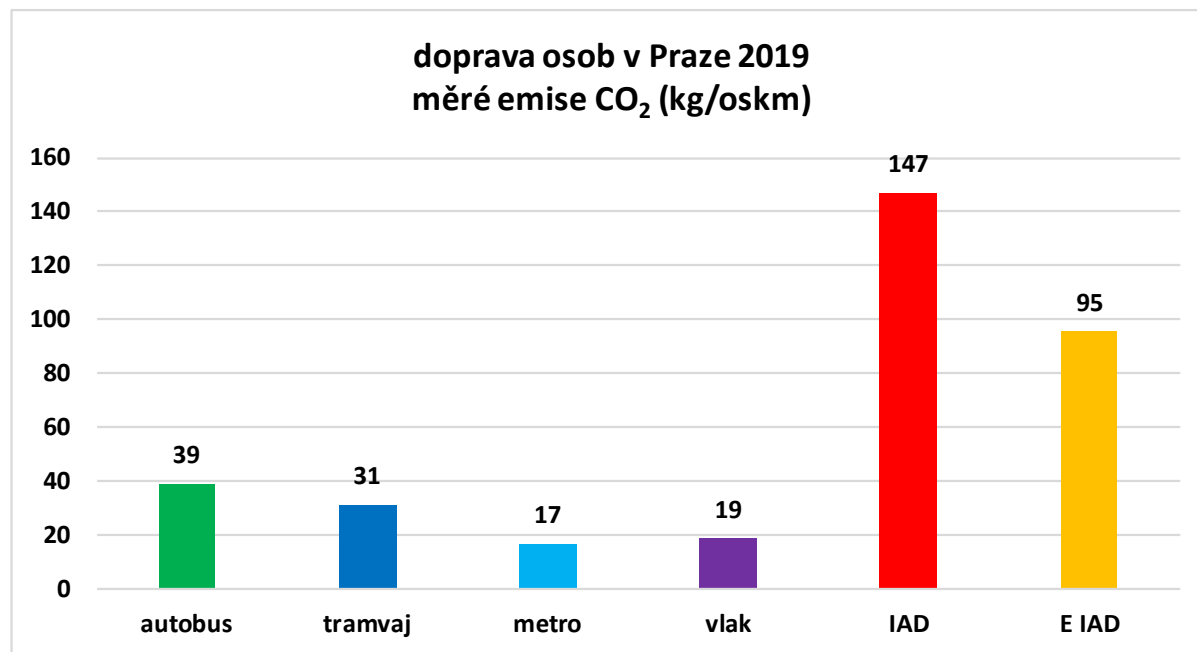


Doprava osob v Praze – skutečnost roku 2019

Veřejná hromadná doprava se v porovnání s automobily též vyznačuje výrazně nižšími emisemi oxidu uhličitého.

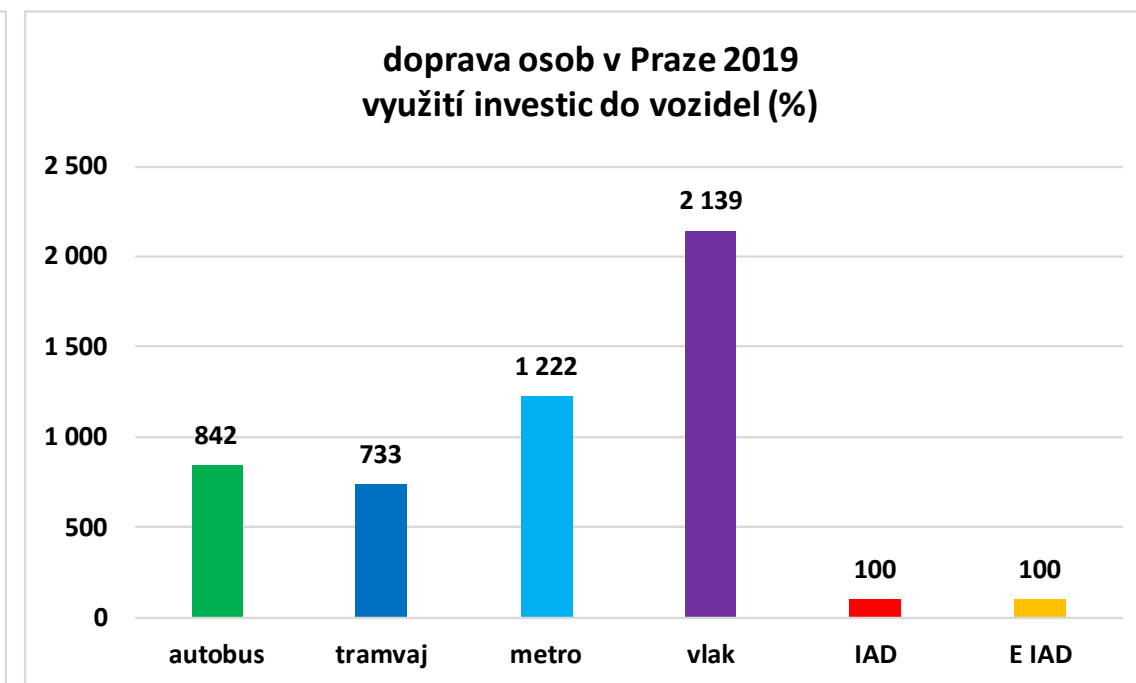
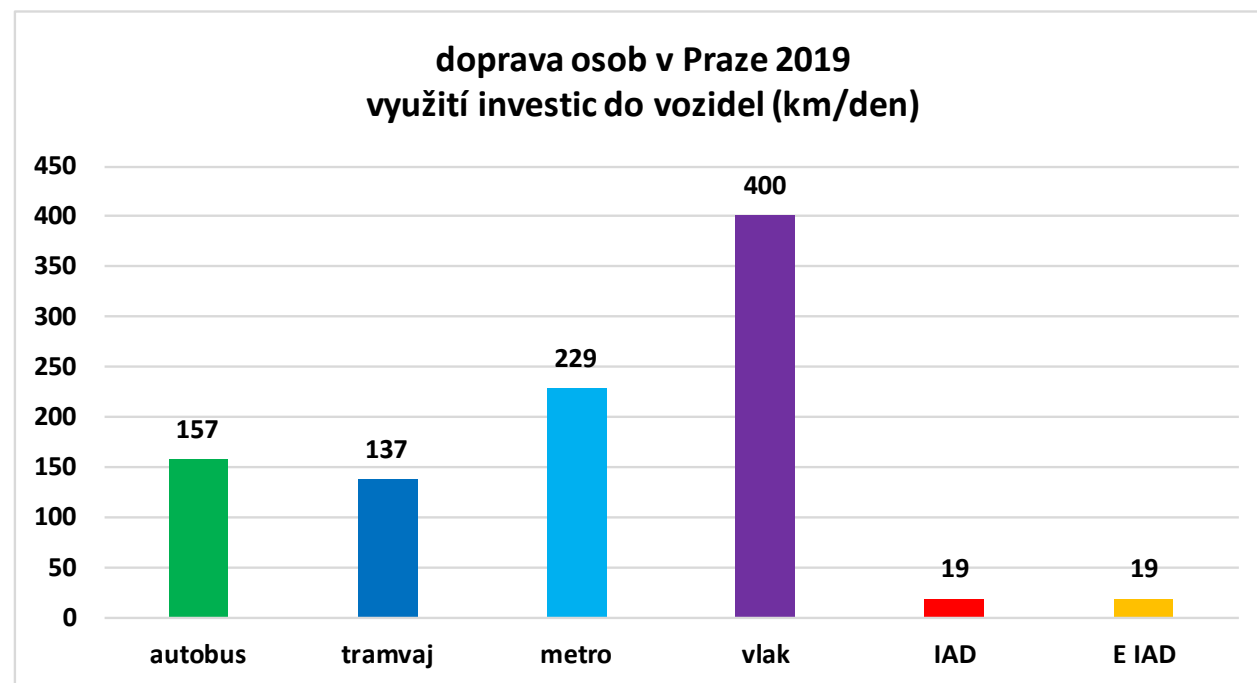
Zásadní rozdíl mezi veřejnou hromadnou dopravou a individuální automobilovou dopravou je i v produkci zdraví škodlivých látek (NO_x, PM, PAH, ...).

Znečištění ovzduší vytváří v Praze ze zhruba 90 % doprava. Proto je významné, že veřejná hromadná doprava (metro, tramvaje, železnice) přepravuje v Praze 71 % osob elektrickými vozidly, tedy bez znečišťování ovzduší emisemi zdraví škodlivých látek.



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.



Významným nástrojem ke snížení konečné spotřeby energie v dopravě je náhrada vozidel se spalovacími motory elektrickou vozbou:

- snížení spotřeby energie na cca 40 % odstraněním spalovacího motoru, který mění 2/3 energie paliva na ztrátové teplo,
- umožnění rekuperace energie při zastavovacím i spádovém brzdění dále podstatným způsobem snižuje spotřebu energie.

Další efekty elektrické vozby:

- úplné odstranění místně působících zdravotně závadných emisí zplodin hoření (NO_x , PM, PAH),
- v součinnosti s probíhajícími změnami v elektrárenství nezávislost na fosilních palivech, jejichž spalování mění klima produkcí CO_2 ,
- výrazné zvýšení rychlosti a výkonnosti,
- podstatný pokles nákladů na údržbu.

=> **liniová elektrizace** všech tratí s dálkovou osobní dopravou, intenzivní regionální dopravou či s potenciálem nákladní dopravy i významných silničních komunikací je jasným cílem.

Kromě liniového elektrického napájení (závislá elektrická vozba) umožňuje stav techniky používat i vozidla se zásobníky energie (polozávislá elektrická vozba), a to v podobě:

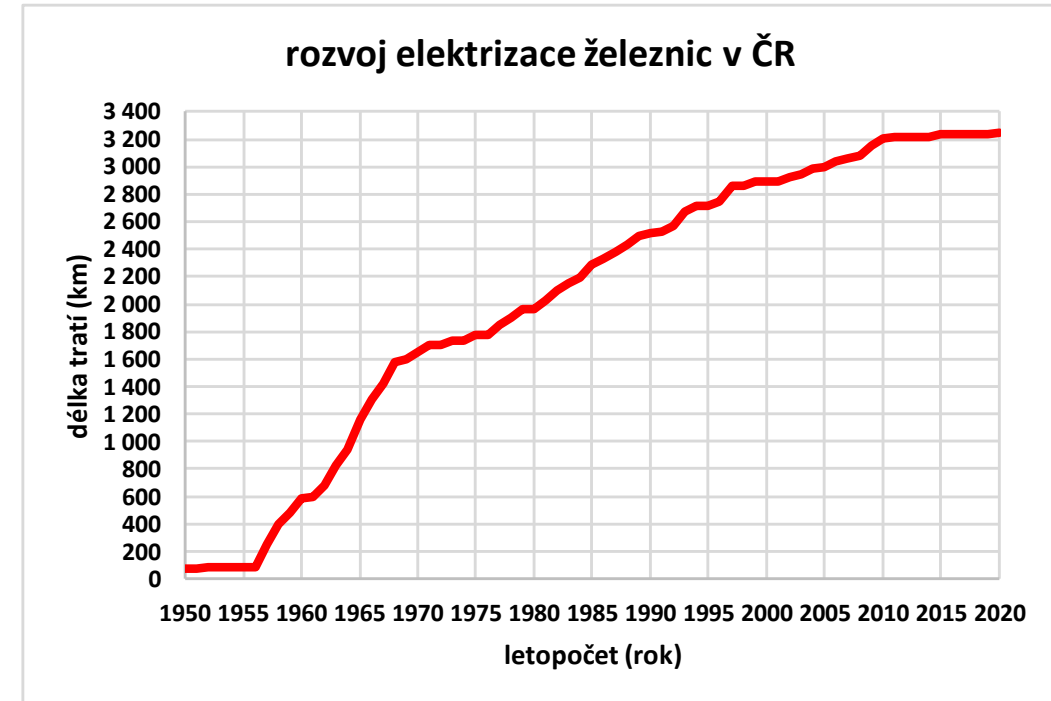
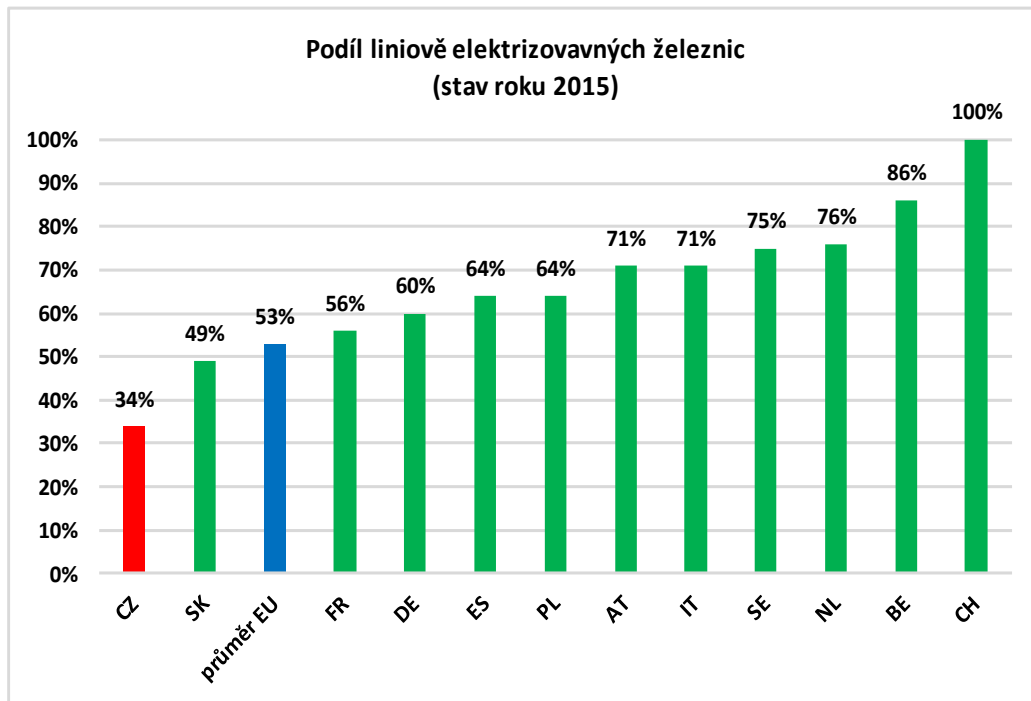
- **lithiových akumulátorů**,
- **palivových článků** využívajících stlačený vodík, případně jiný nositel energie.

Elektrizace železnic v České republice

Elektrizace železnic v České republice:

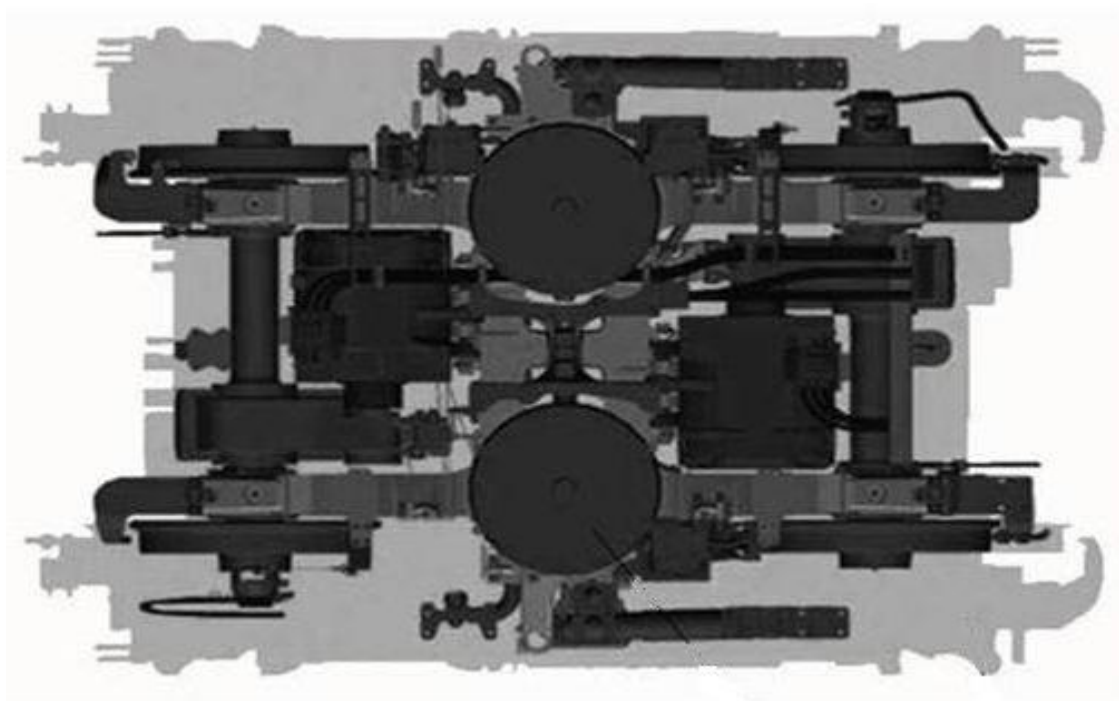
- rozsah elektrizace železniční sítě je hluboko po průměrem EU,
- tempo elektrizace železnic se snižovalo, až se elektrizace železnic prakticky zastavila,
- máme elektrizovaný agrární jih ČR, nikoliv průmyslový sever ČR.

=> zásadní obrat: CK MD ČR schválila liniovou elektrifikaci 560 km tratí, studie proveditelnosti elektrifikace dalších tratí zadává Správa železnic k postupnému řešení



Nástroje k reálnosti vozidel se zásobníky energie: inovace v oblasti železničních vozidel i akumulátorů

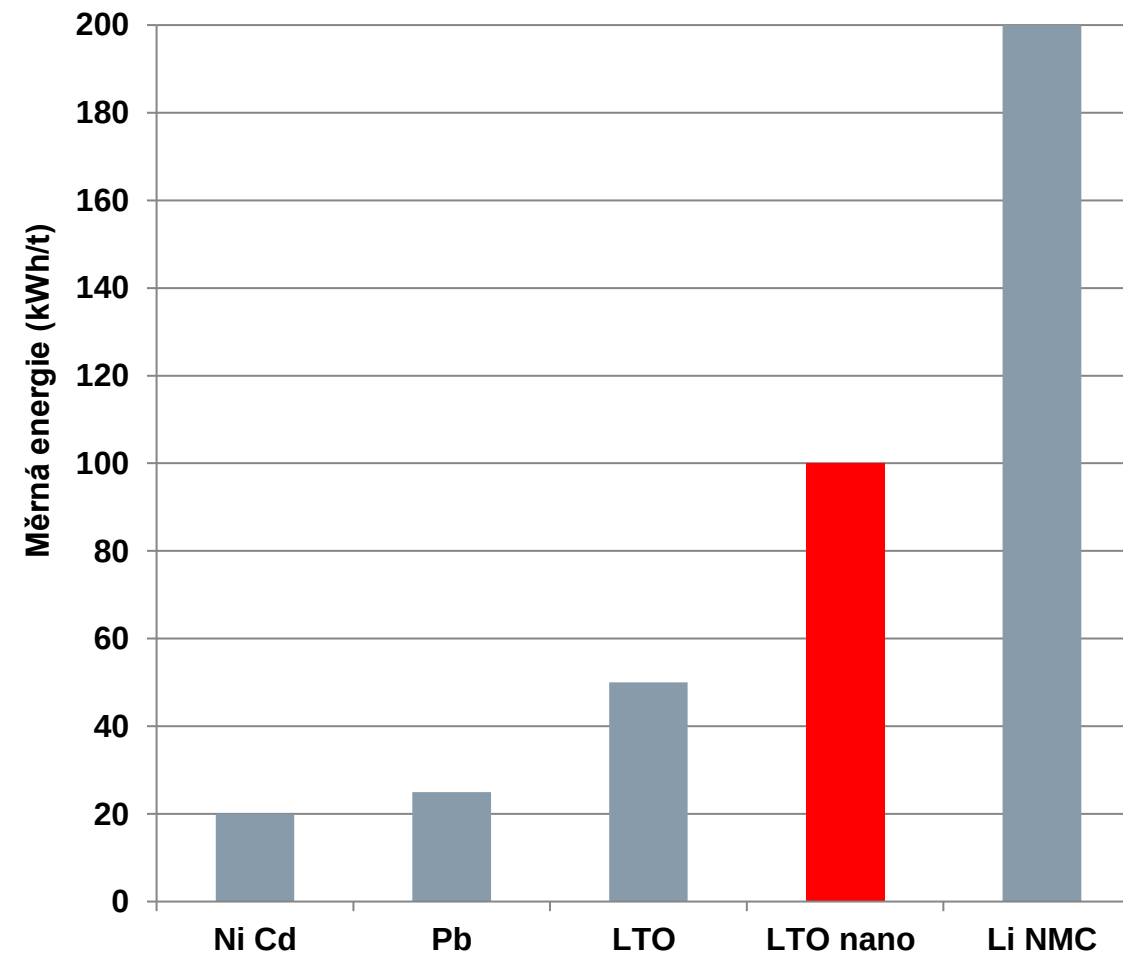
Lehké podvozky s vnitřním rámem



tradiční podvozek s vnějším rámem (100 % hmotnosti)

moderní podvozek s vnitřním rámem (63 % hmotnosti)

Měrná energie akumulátorů



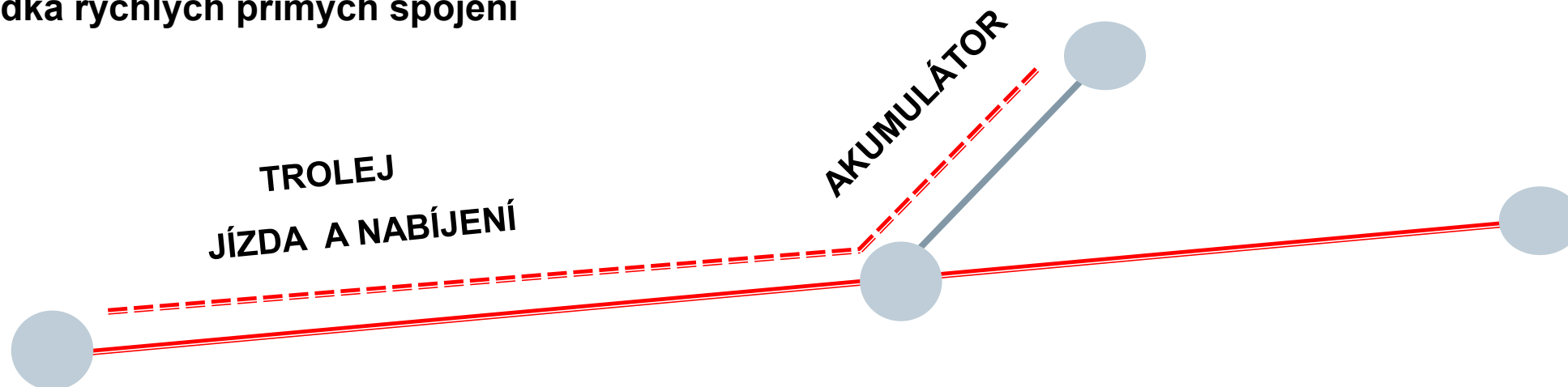
V částečně liniově elektrizované dopravní síti (železnice, městské ulice) lze s výhodou využívat dvouzdrojová vozidla trolej/akumulátor.

Možnost statického (za stání) či dynamického (za jízdy) nabíjení z již vybudované vysoce výkonné elektrické sítě přináší:

- další využití již vybudovaných pevných trakčních zařízení,
- rychlé nabíjení vysokými výkony,
- možnost nabíjení několikrát denně – postačují menší akumulátory, není potřebný dlouhý dojezd

Ekonomické přednosti:

- využití investic vložených do elektrizace hlavních tratí též k zajištění provozu na vedlejších tratích,
- vysoká produktivita vozidel i personálu na dlouhých vozebních ramenech,
- oproti vozidlům se spalovacími motory výrazně nižší náklady na energii a údržbu
- atraktivní nabídka rychlých přímých spojení



Snaha aplikovat vodík v dopravě je následným krokem k odklonu energetiky od používání fosilních paliv v elektrárnách a její orientací na obnovitelné zdroje elektrické energie, zejména fotovoltaické a větrné elektrárny.

A to z pěti důvodů:

1) Čistota vodíku

Palivové články jsou mimořádně citlivé na čistotu vodíku. Jde o zařízení, které odděluje hmotu (protony), jež vytvoří spolu se vzdušným kyslíkem vodní páru, a energii (elektrony), kterou v podobě elektřiny odvedou vodiče proudu.

Veškeré příměsi v palivovém článku zůstanou a degradují jej, zkracují dobu jeho technického života. Proto ISO 14 687-2 předepisuje pro palivové články čistotu vodíku 99,97 %.

Tuto čistotu má vodík vyráběný elektrolýzou, moderní elektrolyzéry s protonovou membránou produkují vysoce čistý vodík 99,999 %, vhodný pro aplikaci v palivových člancích.

V ČR je v současnosti k dispozici především.

- **vodík vyráběný parním reformingem ze zemního plynu,**
- **vodík vyráběný destilací ropných zbytků.**

Těmito technologiemi produkováný vodík má čistotu jen 98,5 % až 99 %, tedy obsahuje 50 až 30krát více nečistot, než je pro aplikaci v palivových člancích přípustné. Bylo by nutno jej pečlivě dočišťovat.

2) Původ vodíku

Vodíkové technologie nejsou cílem, ale nástrojem k naplnění cílů. Cílem je dekarbonizace. Proto nemá logiku aplikovat k náhradě fosilních paliv v dopravě (ropných produktů a zemního plynu) vodík vyráběný z fosilních paliv (z ropných produktů a zemního plynu), ale výhradně jen vodík z obnovitelných zdrojů. Tedy zejména vodík produkovaný s využitím elektrické energie z obnovitelných zdrojů (z fotovoltaických a větrných elektráren).

3) Doprava vodíku

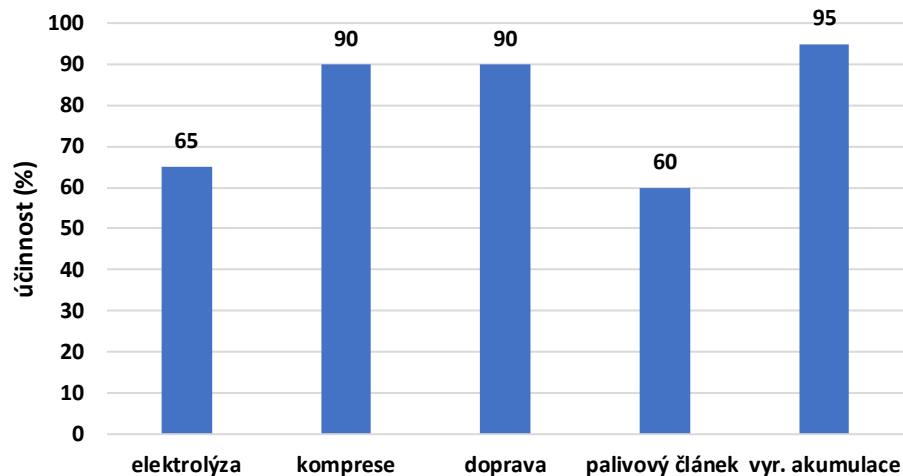
Vodík má sice vysokou výhřevnost (33,2 kWh/kg), ale je velmi lehký, má měrnou hmotnost jen 0,09 kg/m³ (proto jim byly plněny vzducholodě). Stlačením na přetlak 35 MPa klesne jeho objem na 32 litrů, avšak příslušná vysokotlaká silnostěnná nádoba má hmotnost 50 kg (netto 1 kg, tara 50 kg, brutto 51 kg). Dopravuje ji automobil o hmotnosti cca 2 kg vozidla na 1 kg lahví a zpět jede prázdný. Tedy na 1 čistý tunový kilometr přepravní práce je potřebné vykonat dopravní práci 300 hrubých tunových kilometrů a spotřebovat tomu úměrné množství energie. Vodík se chová podobně jako písek – při dopravě na větší vzdálenosti jsou dopravní náklady větší než cena přepravované komodity. Proto je rozumná orientace nikoliv na centralizovanou, ale na decentralizovanou výrobu (v místě užití). Tomu vyhovují elektrolyzéry, které jsou k distribuční elektrické síti připojitelné kdekoliv.

4) Výroba vodíku

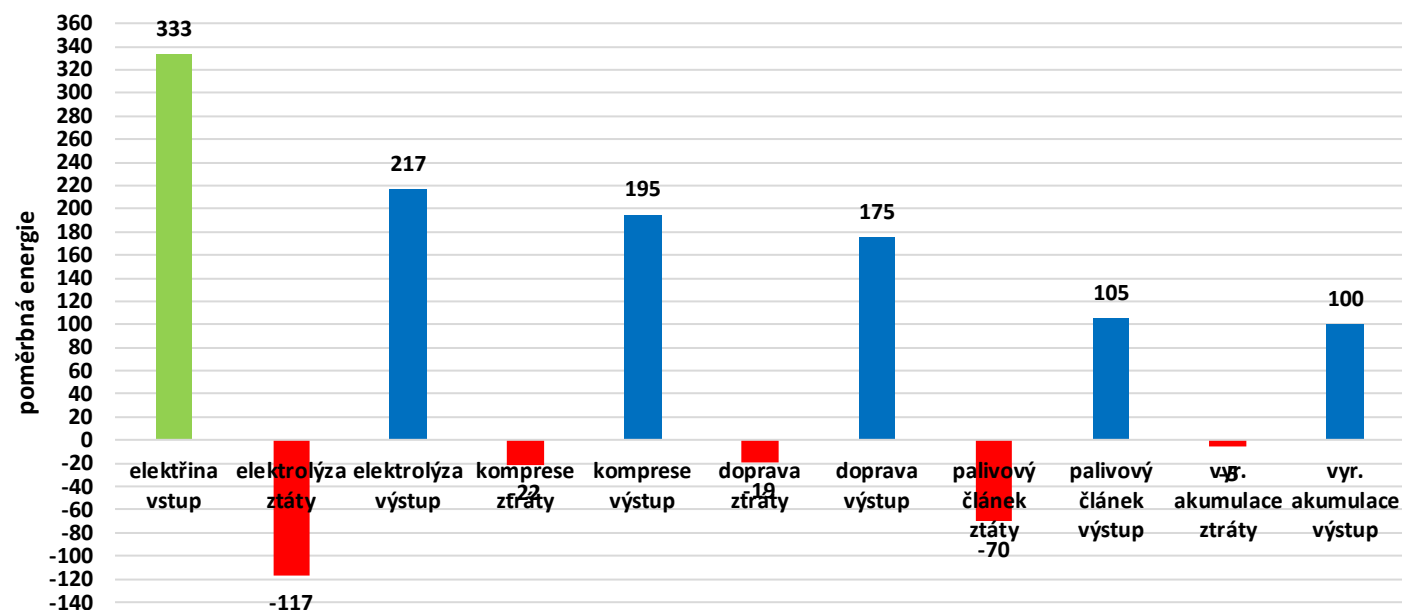
Účinnost energetického řetězce elektřina / vodík / elektřina je zhruba 30 %, tedy třikrát méně než ukládání elektrické energie do lithiového akumulátoru s účinností kolem 90 %.

Proto má logiku používat tuto technologii pro ukládání přebytků levné elektrické energie, pro kterou není aktuální poptávka ze strany spotřeby, a proto je její okamžitá cena velmi nízká až záporná. Tedy v noci z větrných elektráren či v poledne z fotovoltaických elektráren.

Účinnosti jednotlivých komponent



Tok energie



5) Energetický mix

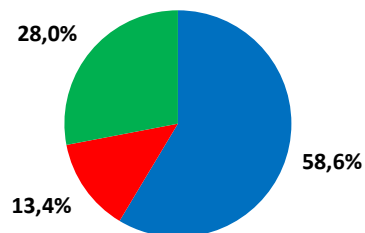
Produkce vodíku s cílem využít a uskladnit aktuální přebytky výroby elektrické energie nad její spotřebou je bytostně spjata s přeměnou elektrárenství z dominantního podílu elektráren, jejichž výkon lze řídit (zejména elektráren uhelných), na dominantní podíl obnovitelných zdrojů, jejichž výkon se mění nahodile (slunce, vítr).

Toto téma je již nyní aktuální v zemích s vysokým podílem obnovitelných zdrojů na výrobě elektřiny (například Německo: 34 % v roce 2019 s tendencí dynamického růstu, meziročně o 5,5 %), nikoliv ještě v ČR, kde je dosud tento podíl 10x nižší (3,4 %) a stagnuje.

Avšak rostoucí tržní cena emisních povolenek vede i v ČR k postupnému útlumu činnosti uhelných elektráren. Nahradí je obnovitelné zdroje a téma akumulace přebytků elektrické energie do vodíku bude řešeno i u nás.

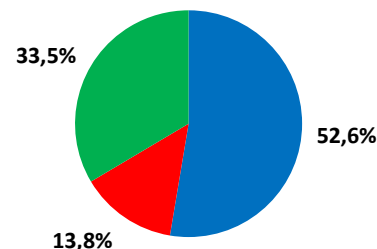
struktura zdrojů výroby elektrické energie v
Německu v roce 2018

■ říditelné (uhelné, plynové, vodní, ...)
■ fixní (jaderné)
■ náhodné (slunce, vítr)



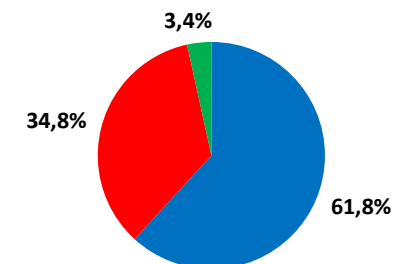
struktura zdrojů výroby elektrické energie v
Německu v roce 2019

■ říditelné (uhelné, plynové, vodní, ...)
■ fixní (jaderné)
■ náhodné (slunce, vítr)



struktura zdrojů hrubé výroby elektrické energie
v ČR v roce 2019

■ říditelné (uhelné, plynové, vodní, ...)
■ fixní (jaderné)
■ náhodné (slunce, vítr)



Elektrická vozba

Pokrok v oblasti ukládání elektrické energie umožňuje kromě tradiční elektrické závislé trakce (napájení vozidel z liniového trakčního vedení) aplikovat i bezemisní elektrická vozidla se zásobníky energie:

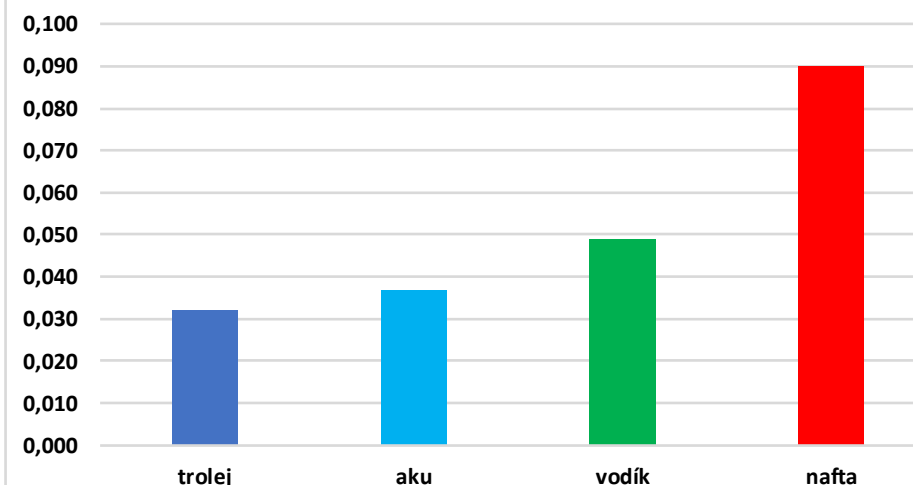
- **dvouzdrojová vozidla trolej /akumulátor (BEMU), s lithiovými akumulátory, vhodná k provozu na částečně elektrifikované železniční síti, ze které jsou nabíjena,**
- **vodíková vozidla (HMU).**

Zásadní předností elektrických vozidel je tichý, čistý a bezemisní provoz.

Ve srovnání s naftovými vozidly mají elektrická vozidla výrazně nižší spotřebu energie a disponují vyšším trakčním výkonem, což umožňuje rychlejší dopravu.



regionální vlaky: měrná spotřeba energie (kWh/sed km)



Děkuji Vám za Vaši pozornost!



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

Siemensova 1
155 00 Praha
Česká republika

Mobilit: +420 724 014 931

E-mail: jiri.pohl@siemens.com