

Role železnice v bezemisní udržitelné multimodální mobilitě

Loučeň, 20. 5. 2022

Jiří Pohl, Siemens Mobility, s.r.o.

Objev a užití fosilních paliv posunulo za posledních dvě stě let lidstvo zásadním způsobem vpřed. Energie uvolněná spalováním uhlí, ropy a zemního plynu umožnila rozvoj průmyslu, dopravy i bydlení. Došlo k rozvoji vzdělanosti, kultury i zdravotní a sociální péče. Lidé se dorůstají vyšší výšky a dožívají se vyššího věku.

Avšak platí nejen zákon zachování energie, který lidstvu umožňuje využívat ke svému prospěchu energii fosilních paliv, ale i zákon zachování hmoty. Uhlík obsažený ve fosilních palivech se jejich spalováním neztrácí, ale v podobě oxidu uhličitého se přesouvá z podzemí do zemského obalu.

Splováním fosilních paliv došlo ke zvýšení množství oxidu uhličitého v zemském obalu z původních 3 500 miliard tun na současných 5 200 miliard tun. To zvýšilo tepelně izolační schopnost zemského obalu, nastaly nevratné klimatické změny.

S vědomím společenské odpovědnosti za trvalé poškození podmínek života na Zemi se 195 zemí z celého světa, včetně České republiky, dohodlo přijetím Pařížské dohody OSN z prosince 2015, že zastaví oteplování Země na hodnotě 1,5 až 2 ° C. K tomu spočetla Mezinárodní energetická agentura IEA, že je nutno přestat do roku 2050 přestat spalovat uhlí, ropné produkty a zemní plyn.

Obory lidské činnosti, závislé na spalování fosilních paliv, mají k dispozici 29 let na snížení své energetické náročnosti a na náhradu energie fosilních paliv energií obnovitelných zdrojů.

Technicky je to reálné. Energii, kterou lidstvo ročně získává splováním uhlí, ropných produktů a zemního plynu přinášejí paprsky slunečního záření na povrch Země každých 40 minut.

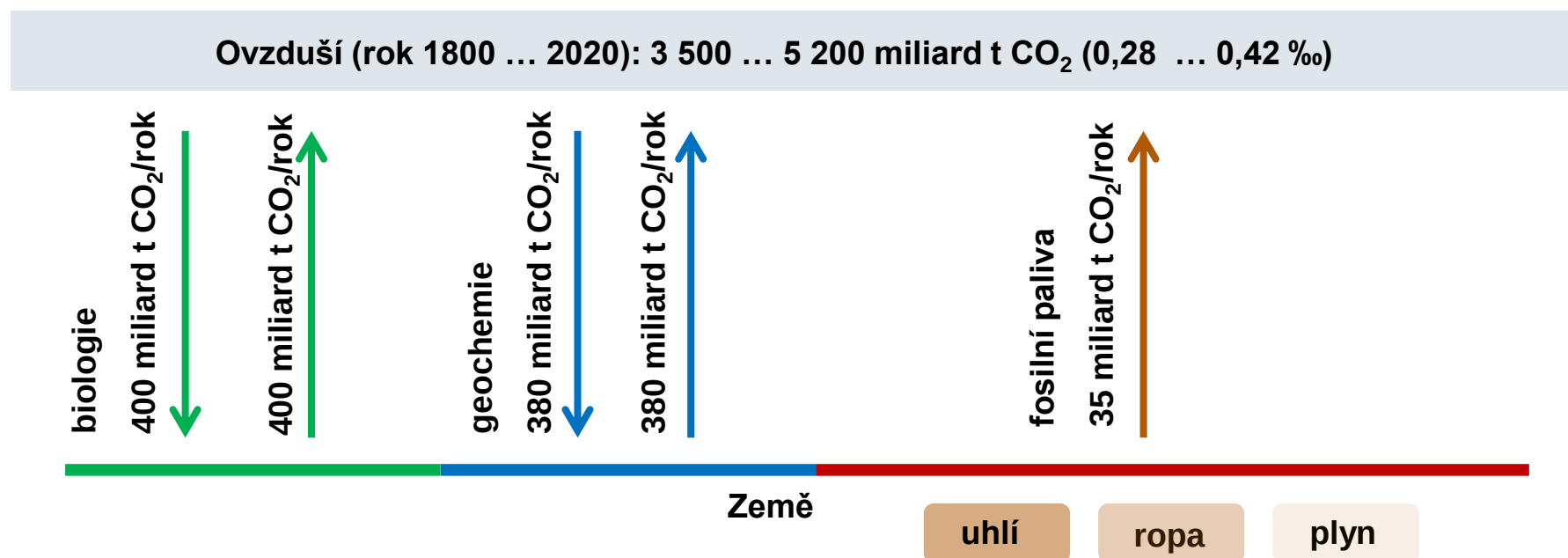
Přírodní procesy každoročně z ovzduší odebírají a do ovzduší navracejí $400 + 380 = 780$ miliard t CO₂/rok.

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 5 200 mil.t, tedy téměř o polovinu.



Důsledky spalování fosilních paliv (skleníkový efekt)

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

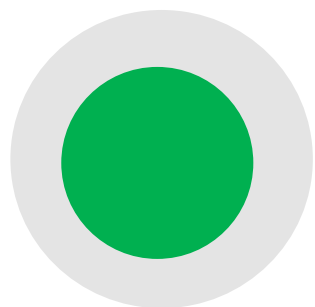
Zemská atmosféra má tepelně izolační schopnost. Přes noc uchovává teplo. Oxid uhličitý, podobně jako ostatní skleníkové plyny, propouštějí na zemi sluneční záření, ale absorbují tepelné záření vycházející ze země do vesmírného prostoru.

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

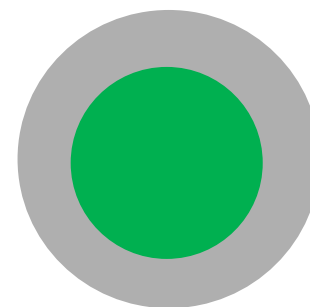
Vlivem působení kladné zpětné vazby v podobě uvolňování metanu při rozmrzání permafrostu sv posledních létech mění dosud lineární průběh oteplování Země na exponenciální.

V důsledku asymetrie kontinentů nejde jen o růst střední teploty, ale též 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 2020):
5 200 miliard t CO₂
koncentrace 0,42 ‰
výchozí teplota zvýšená o 1 ° C

Energetická bilance ČR 2019 (poslední rok před Covid 19): Primární spotřeba

Primární spotřeba energie ČR 2019									
	celková energie	fosilní energie	import energie	celková energie	fosilní energie	import energie	celková energie	fosilní energie	import energie
	TWh/rok	TWh/rok	TWh/rok	PJ/rok	PJ/rok	PJ/rok	%	%	%
uhli	166	166	11	599	599	38	33	33	2
ropa	114	114	113	412	412	406	23	23	23
zemní plyn	83	83	81	300	300	293	17	17	16
OZE	57	0	-1	206	0	-2	11	0	0
odpady	4	0	0	15	0	0	1	0	0
jádro	88	0	88	316	0	316	18	0	18
elektřina	-13	0	-13	-47	0	-47	-3	0	-3
celkem	500	364	279	1 801	1 311	1 004	100	73	56

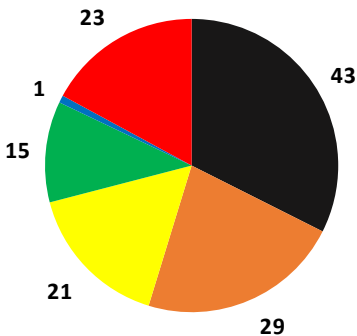
73 % primární spotřeby energie pokrývají fosilní paliva
58 % primární spotřeby energie pokrývá import

SIEMENS

Inaenuity for life

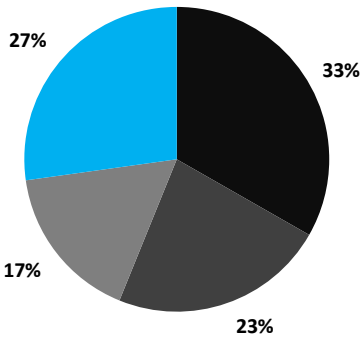
ČR 2019: struktura primární spotřeby energie (kWh/obyvatele/den)

■ uhlí ■ ropa ■ zemní plyn ■ OZE ■ odpady ■ jádro



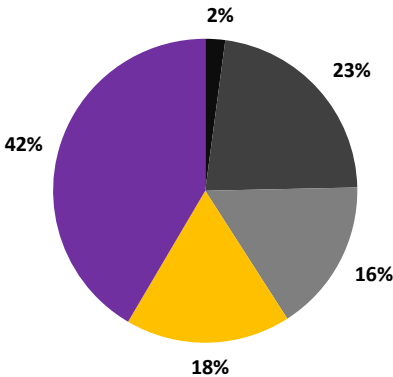
struktura primární spotřeby energie v ČR v roce 2019

■ uhlí ■ ropa ■ plyn ■ nefosilní



struktura primární spotřeby energie v ČR v roce 2019

■ dovoz uhlí ■ dovoz ropa ■ dovoz plyn ■ dovoz jádro ■ domácí zdroje



V přepočtu na jednoho občana ČR činní denní spotřeba fosilních paliv 93 kWh.

Každému občanu ČR trvale někde hoří fosilní ohniček o výkonu téměř 4 kW.

Roční produkce oxidu uhličitého činí v ČR 12 t CO₂ eqv. na obyvatele a rok.

To je ve srovnání s Čínou téměř dvojnásobek.

SIEMENS

Jiří Pohl

Energetická bilance ČR 2019 (poslední rok před Covid 19): Konečná spotřeba

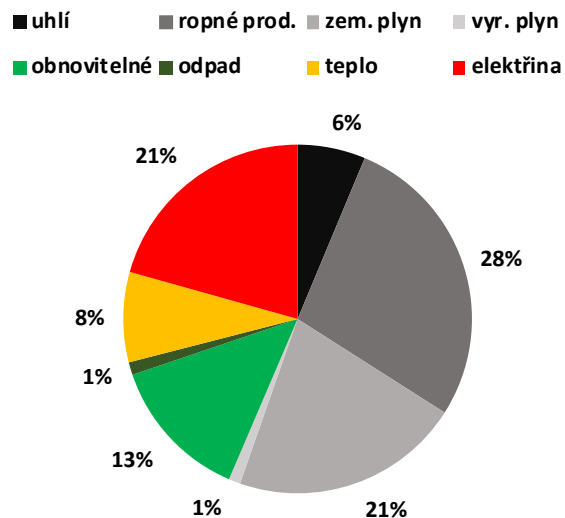
SIEMENS

Ingenuity for life

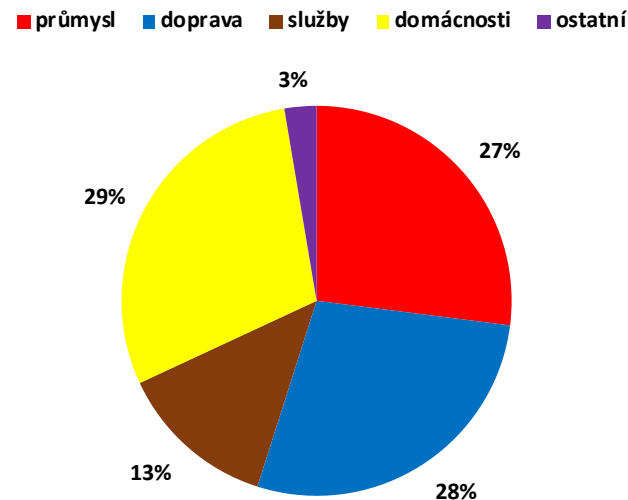
Konečná spotřeba energie ČR 019																					
	celková energie	fosilní energie	vyrob. plyny	obnov.	odpad	tepelná energie	elektr. energie	celková energie	fosilní energie	vyrob. plyny	obnov.	odpad	tepelná energie	elektr. energie	celková energie	fosilní energie	vyrob. plyny	obnov.	odpad	tepelná energie	elektr. energie
	TWh/rok	TWh/rok	TWh/rok	TWh/rok	TWh/rok	TWh/rok	TWh/rok	PJ/rok	PJ/rok	PJ/rok	PJ/rok	PJ/rok	PJ/rok	PJ/rok	%	%	%	%	%	%	%
průmysl	76	33	3	6	3	7	24	275	120	11	21	11	24	88	27	12	1	2	1	2	9
doprava	79	73	0	4	0	0	2	284	263	0	14	0	0	6	28	26	0	1	0	0	1
služby	37	14	0	1	0	6	16	134	51	0	3	1	20	58	13	5	0	0	0	2	6
domácnosti	83	31	0	26	0	11	15	298	110	0	92	0	41	55	29	11	0	9	0	4	5
ostatní	8	5	0	2	0	0	1	27	19	0	6	0	0	3	3	2	0	1	0	0	0
celkem	283	156	3	38	3	24	58	1018	563	11	136	12	85	210	100	55	1	13	1	8	21

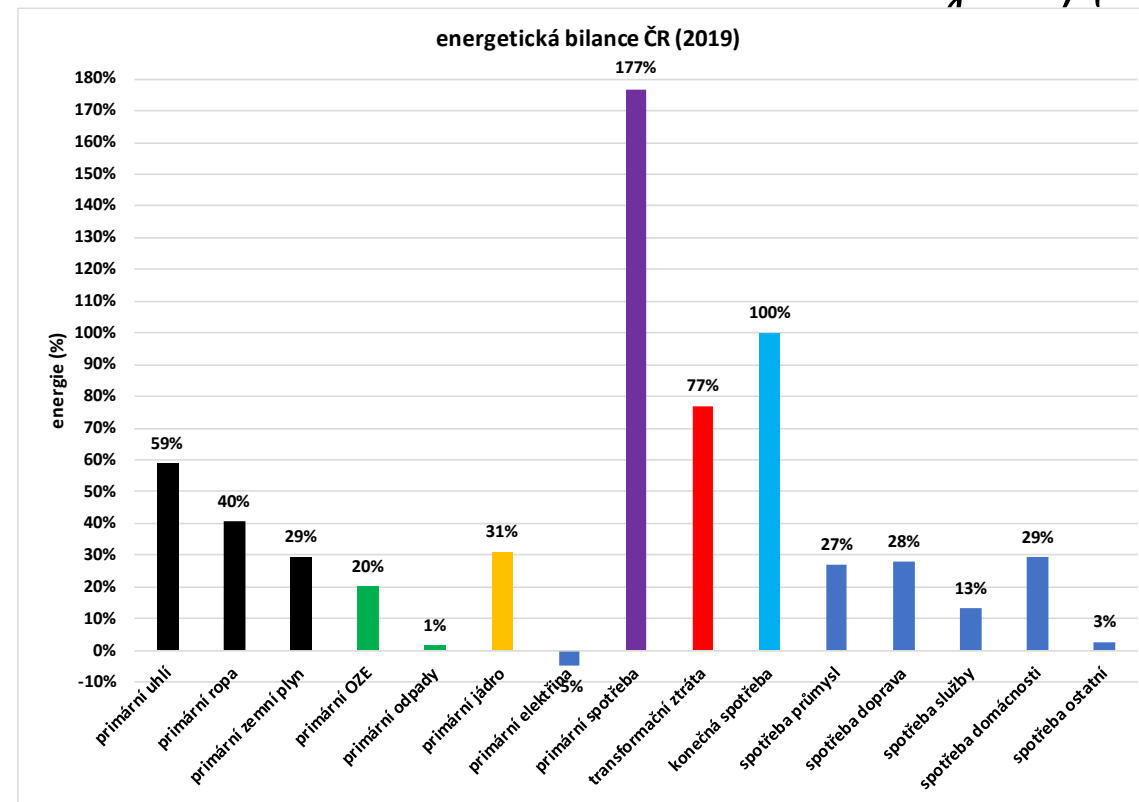
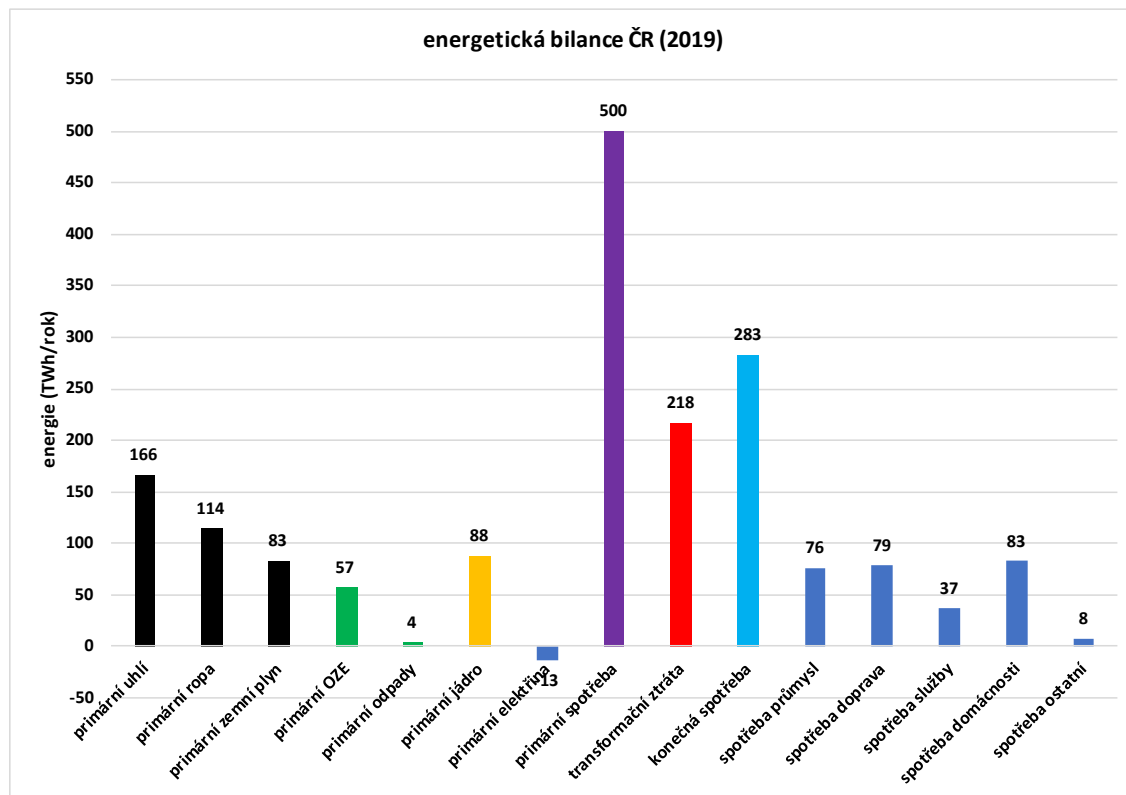
55 % konečné spotřeby energie v ČR tvoří fosilní paliva přímo, 74 % konečné spotřeby energie tvoří fosilní paliva nepřímo.

Struktura konečné spotřeby energie v ČR v roce 2019



Struktura konečné spotřeby energie v ČR v roce 2019





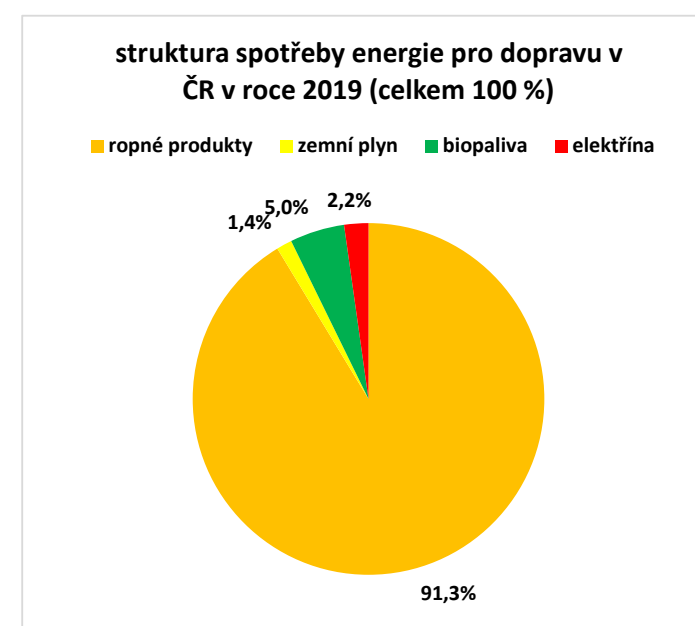
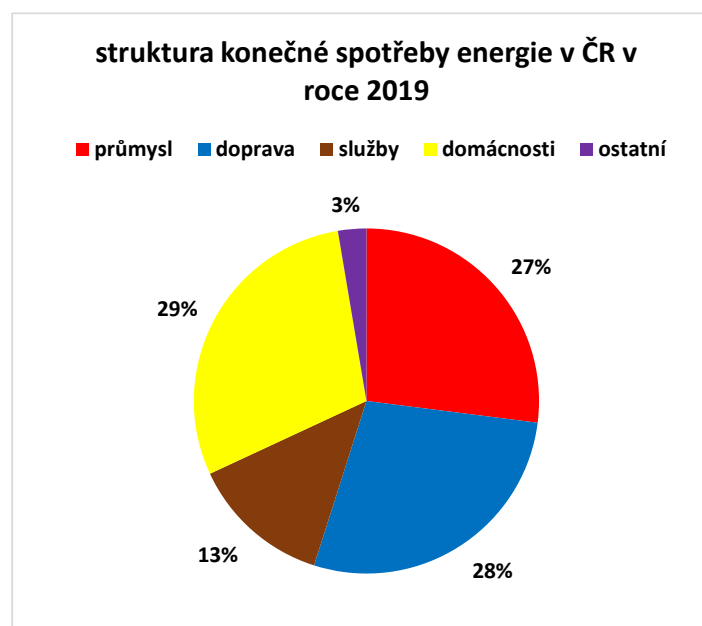
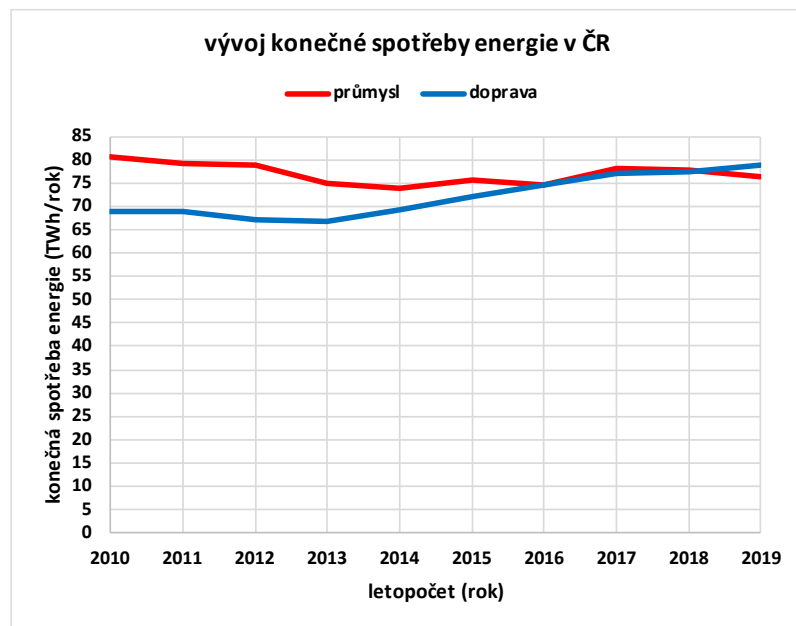
V roce 2019 činila v ČR konečná spotřeba energie 283 TWh/rok, k tomu činila primární spotřeba fosilních paliv 364 TWh/rok. Máme úkol snížit do roku 2050 primární spotřebu fosilních paliv na 0 TWh/rok. K tomu jsou dva nástroje:

- zvýšením energetické účinnosti snížit konečnou spotřebu energie („úspory jsou zdrojem energie“),
- nahradit fosilní zdroje energie obnovitelnými (transformací energie slunečního záření).

Závazné tempo úspor konečné spotřeby energie vyžaduje každým rokem vytvářet nové úspory energie ve výši 0,8 % konečné spotřeby.

Na rozdíl od příznivého vývoje v oblasti průmyslu a domácností se v období do roku 2020 doprava vyvíjela zcela opačně, spotřeba energie v dopravě vytrvale rostla o 3 až 4 % 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 jen 2 % elektrická energie. Spalováním fosilních paliv produkuje doprava v ČR ročně 19 milionů tun oxidu uhličitého, což je více než dvojnásobek produkce oxidu uhličitého spalováním fosilních paliv v průmyslu (8 mil. tun/rok).

=> 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.



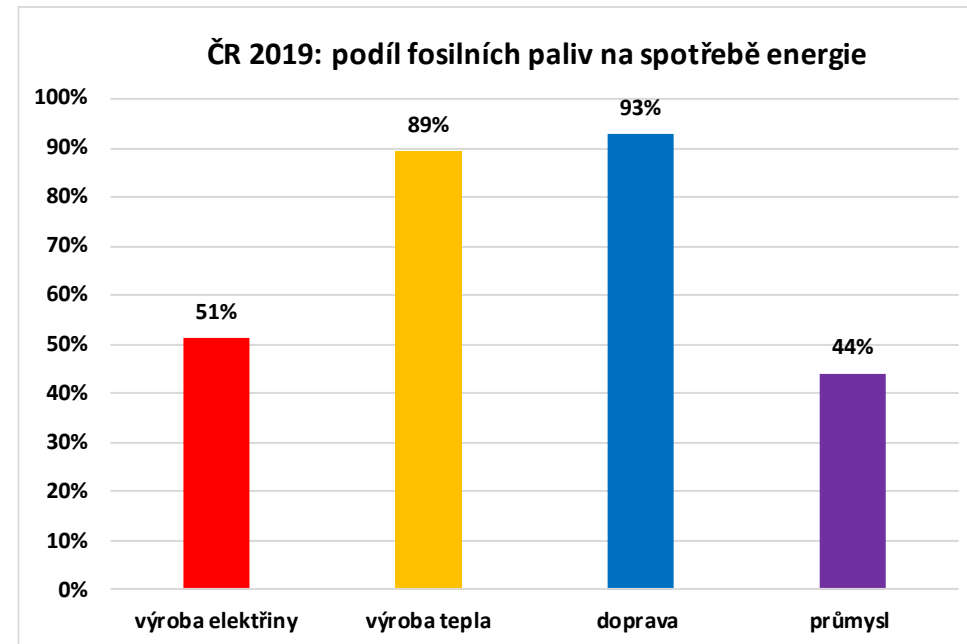
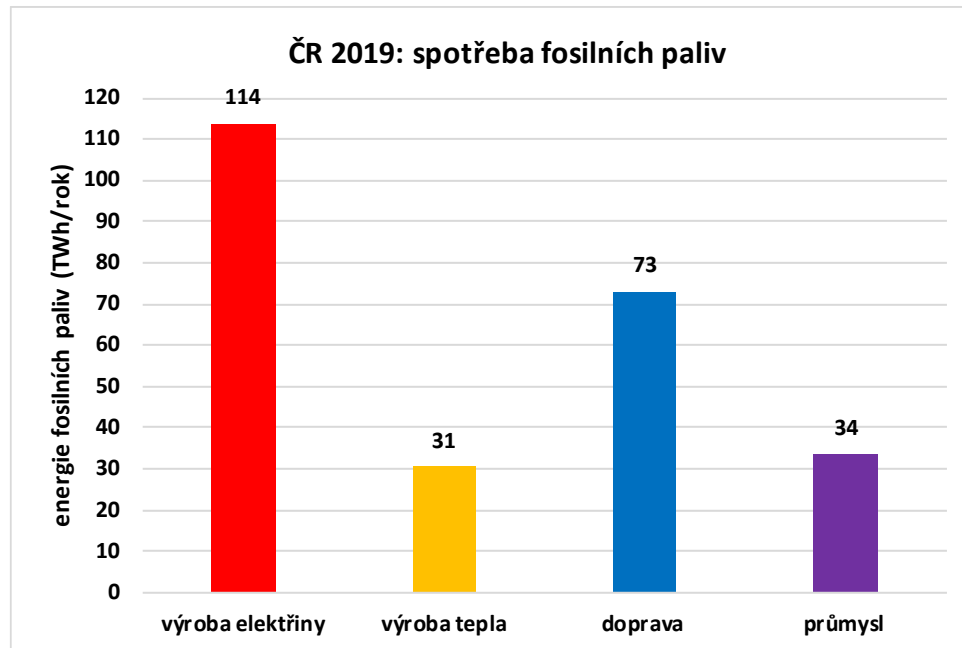
Energetická bilance ČR 2019 (poslední rok před Covid 19): podíl fosilních paliv

SIEMENS

Ingenuity for life

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

V brzké době (plán: 2025) však již v EU dojde k rozšíření oblasti regulované emisními povolenkami EU ETS o domácnosti a dopravu (prostřednictvím distributorů fosilních paliv).



- doprava je v ČR větším spotřebitelem fosilních paliv, než výroba tepla a průmysl dohromady,
- doprava je ze všech hospodářských odvětví ČR nejvíce závislá na fosilních palivech.

Nejen elektrárností, plynárností, teplárností a průmysl, ale i doprava má úlohu zbavit se roku 2050 závislosti na fosilních palivech. Česká republika se k tomu spolu s ostatními 195 státy světa zavázala přijetím Pařížské dohody OSN. Doprava dostala zadání zajistit mobilitu osob a věcí bez fosilních paliv. A to s výrazně nižší spotřebou energie, aby doprava nekladla příliš vysoké nároky na obnovitelné zdroje energie.

K naplnění tohoto cíle má doprava dva technické nástroje:

- zvýšení energetické účinnosti na cca 2,5 násobek náhradou spalovacích motorů elektrickým trakčním pohonem (snížení tepelných ztrát a schopnost rekuperovat brzdovou energii),
- zvýšení energetické účinnosti na cca 3 násobek převedením silniční dopravy na dopravu kolejovou (nižší valivý odpor ocelových kol na ocelových kolejnicích a nižší aerodynamický odpor dlouhých štíhlých vozidel).

Účinek obou těchto nástrojů se navzájem násobí – převedení dopravy zajišťované spalovacími automobily na kolejovou dopravu v elektrické vozbě vede ke zvýšení energetické účinnosti na přibližně $2,5 \cdot 3 = 7,5$ násobek, tedy k poklesu spotřeby energie na 13 %.

Prvý nástroj, tedy zvýšení energetické účinností nahrazením spalovacích motorů elektrickou vozbou, má logiku aplikovat všeobecně, u všech pozemních dopravních prostředků, na silnici i na železnici.

Druhý nástroj, tedy zvýšení energetické účinností nahrazením silniční dopravy kolejovou dopravou, má logiku aplikovat ve směrech silných a pravidelných přepravních proudů, kde je ekonomicky efektivní budovat kolejovou dopravní cestu (a spolu s ní i liniové elektrické napájení).

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 dopravě79 TWh/rok

spotřeba energie paliv v dopravě77 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) používat jen tam, kde lze využít ztrátové teplo,

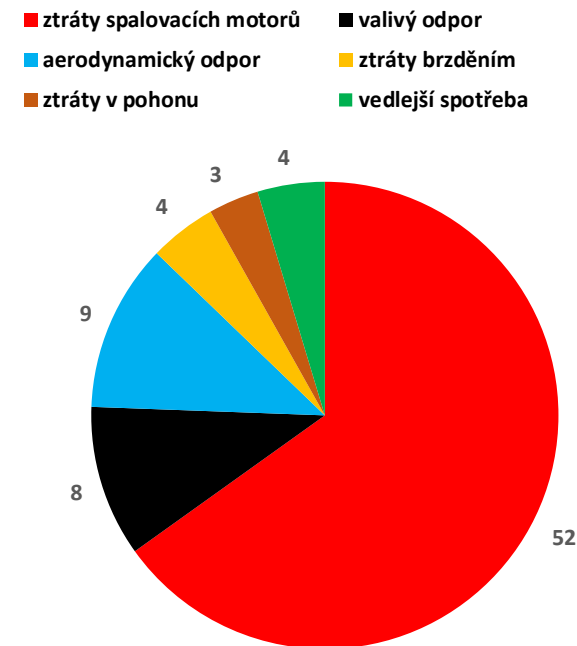
⇒ tepelný cyklus (tepelné stroje) nepoužívat v dopravních prostředcích

V dopravních prostředcích nelze využít ztrátové teplo spalovacích motorů.

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

SIEMENS

energetická bilance dopravy ČR 2018
(TWh/rok)



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).

Energie pro dopravu v ČR v roce 2019

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

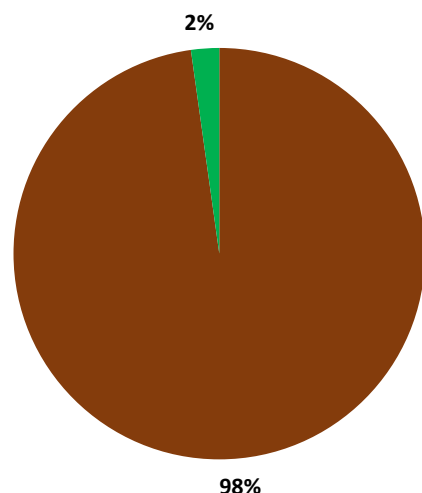
Struktura spotřeby energie pro dopravu je v ČR velmi nezdravá:

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

=> doprava: produkce 5 kg oxidu uhličitého na obyvatele a den

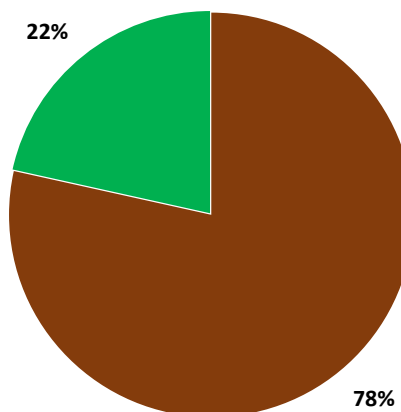
struktura spotřeby energie pro dopravu v ČR

■ uhlovodíková paliva ■ elektřina



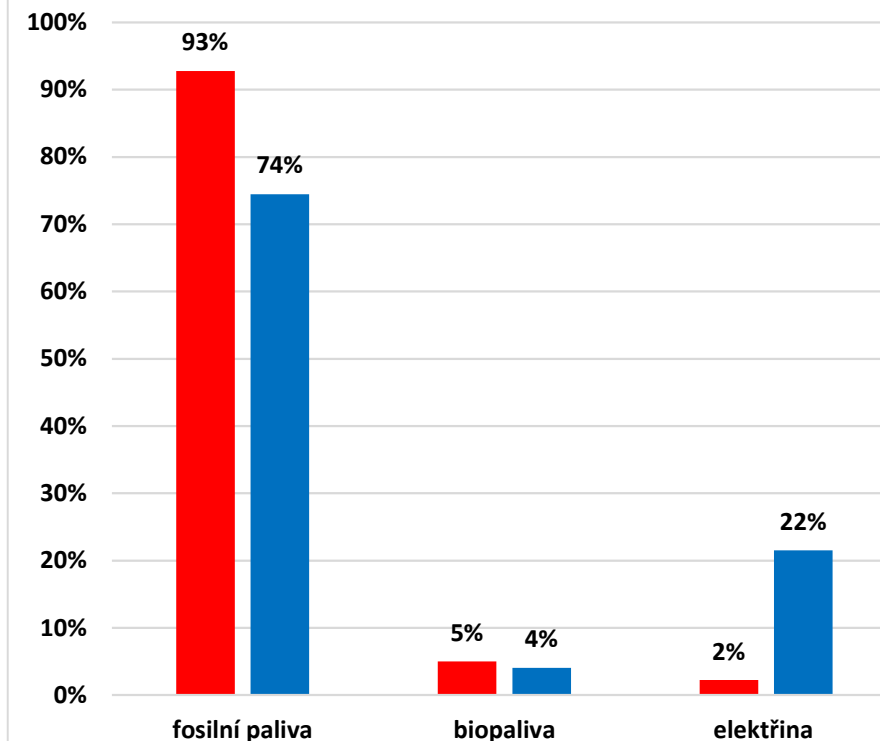
struktura přepravních výkonů dopravy v ČR

■ uhlovodíková paliva ■ elektřina



ČR 2019: struktura spotřeby energie pro dopravu

■ spotřeba energie ■ přepravní výkon



Alternativa pro dopravu: náhrada fosilních paliv biologickými

Plná náhrada fosilních paliv pro dopravu biologickými:

- nárůst podílu biosložky v palivech pro dopravu z 5 % na 100 %,
- 100 % biopaliva pěstovaná na území ČR,
- pokles podílu fosilních paliv v dopravě z 95 % na 0 %,
- pokles podílu importu paliv pro dopravu z 95 % na 0 %,

⇒ **pěstování biopaliv na 79 % plochy území ČR**

To není reálné. Pole v ČR jsou schopna uživit obyvatele ČR, nikoliv jejich automobily

Příčiny nízké produktivity biopaliv:

- neefektivní využití energie slunce (účinnost pouhá 0,13 %),
- neefektivní využití paliv spalovacími motory (účinnost jen 33 %).

Prostá náhrada fosilních uhlovodíkových paliv pro dopravu biologickými uhlovodíkových paliv není z kvantitativních důvodů reálná, na to plocha území ČR nestačí.

Spotřebu energie je nutno před její náhradou radikálně snížit.

Nástroje:

- zvýšení energetické účinnosti pohnu dopravních prostředků (náhrada spalovacího motoru elektrickým trakčním pohonem),
- zvýšení energetické účinnosti požitím dopravy s nižším trakčním odporem (náhrada silniční a letecké dopravy dopravou kolejovou)

náhrada fosilních paliv v dopravě biopalivy		
spotřeba paliv v dopravě 2019	TWh/rok	77
podíl biosložky	%	100
spotřeba biosložky	TWh/rok	77,0
měrný výnos řepkového semene	kg/ha/rok	3 200
podíl metylesetru na hmotnosti	%	40
hrubá měrná produkce paliva	kg/ha/rok	1 280
výhřevnost paliva	kWh/kg	12
hrubá měrná produkce paliva	kWh/ha/rok	15 360
vlastní spotřeba výrobního procesu	%	20
čistá měrná produkce energie paliva	kWh/ha/rok	12 288
měrná plošná energie pozemku	GWh/rok/km ²	1,2
potřebná plocha pozemku	km ²	62 663
potřebná plocha pozemku	ha	6 266 276
hrana náhradního čtverce	km	250
plocha ČR	km ²	78 865
poměr pozemků ku ploše ČR	%	79
max. intenzita slunečního svitu	W/m ²	1 050
střední roční využití slunce	%	12
měrná plošná energie pozemku	GWh/rok/km ²	1 104
účinnost přeměny slunce na palivo	%	0,11

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).

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 %).

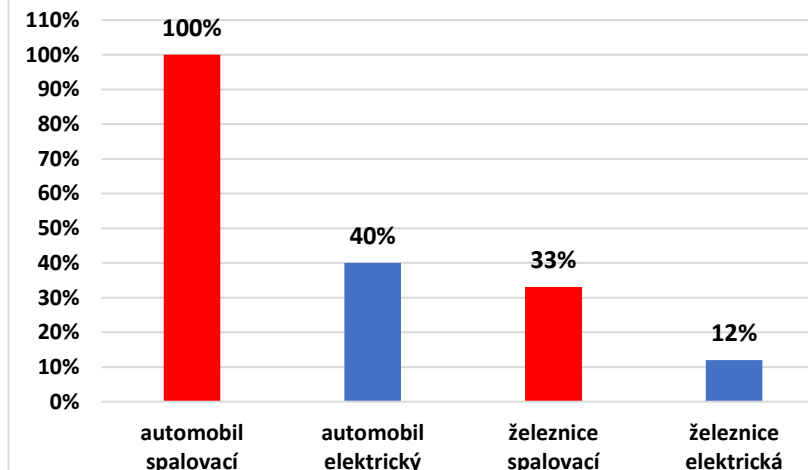
K využití potenciálu extramodálních úspor energie a emisí je nutno splnit dvě podmínky:

- **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.

SIEMENS

Ingeniury for Life

poměrná energetická náročnost dopravy



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 2019: 133 mld. os km/rok, 58 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

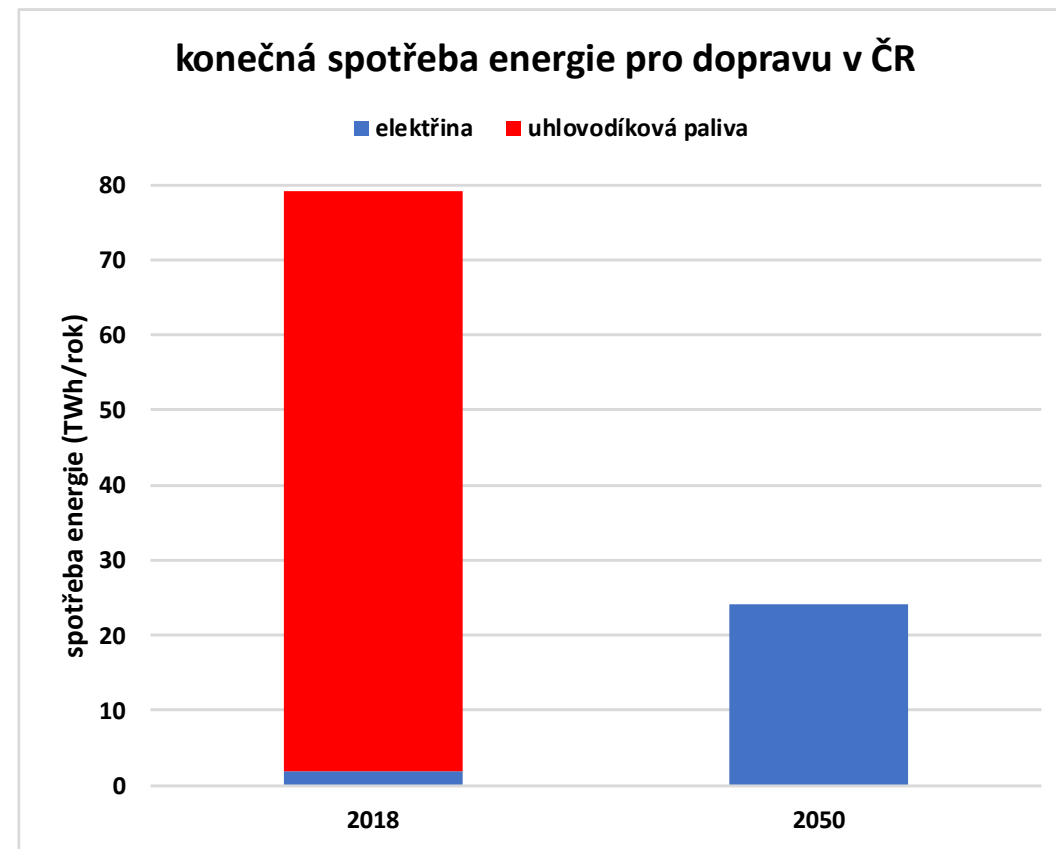
Cílový stav (100 % náhrada spalovacích motorů elektrickým pohonem a převedením intenzivních přeprav ze silnice na železnici)

rok 2050: pro stejnou úroveň přepravních výkonů 133 mld. os km/rok, 58 mld. netto tkm/rok

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

Zajistit pro dopravu 24 TWh/rok v podobě elektřiny je reálné. Tuto energii dokáže 12 000 ha FV panelů (0,15 % plochy území ČR) s účinností 18 % (AC).

Respektive 20 000 ha panelů včetně akumulace k vyrovnání okamžitých výkonů.



Alternativa pro dopravu: náhrada fosilních paliv elektrickou energií

Plně elektrifikovaná doprava:

- úspora dovozu 73 TWh/rok fosilních paliv (ropné produkty, zemní plyn),
- úspora pěstování biopaliv 4 T Wh/rok (320 000 ha).

Scénář 100 % FV

I při pokrytí ztrát akumulací postačuje pro 100 % zajištění veškeré dopravy v ČR elektrickou energií vybudovat fotovoltaické elektrárny na 1/10 plochy, na které jsou nyní pěstována biopaliva pro 5 % přísadu k fosilním palivům pro spalovací motory.

příčiny:

- 160 krát vyšší účinnost FV přeměny energie slunečního záření na elektřinu ve srovnání s pěstováním biopaliv,
- 2,5 krát vyšší účinnost elektrického trakčního pohonu ve srovnání se spalovacími motory.

100 % pokrytí spotřeby energie pro dopravu v ČR FV zdroji				
akumulace		bez	lithium, voda	vodík
konečná spotřeba el. energie pro dopravu 2050	TWh/rok	24	24	24
střední příkon konečné spotřeby pro dopravu 2050	GW	2,7	2,7	2,7
podíl akumulované spotřeby rychlé	%	0	30	30
spotřeba z akumulace rychlé	TWh/rok	0	7	7
účinnost akumulace rychlé	%	100	80	80
ztráty akumulací rychlou	TWh/rok	0	2	2
podíl akumulované spotřeby pomalé	%	0	30	30
spotřeba z akumulace pomalé	TWh/rok	0	7	7
účinnost akumulace pomalé	%	100	80	35
ztráty akumulací pomalou	TWh/rok	0	2	13
konečná spotřeba el. energie s aku.	TWh/rok	24	28	39
navýšení spotřeby akumulací	%	0	15	63
střední příkon 2050 s akumulací	GW	2,7	3,2	4,5
max. intenzita slunečního svitu	W/m ²	1 050	1 050	1 050
účinnost FV elektrárny (AC)	%	18	18	18
poměr ploch FV panelů a pozemku	%	60	60	60
měrný plošný výkon pozemku	MW/km ²	113	113	113
střední roční využití FV elektráren	%	12	12	12
jmenovitý AC výkon FV elektráren	GW	23	26	37
měrná plošná energie pozemku	GWh/rok/km ²	119	119	119
potřebná plocha pozemku	km ²	201	232	329
potřebná plocha pozemku	ha	20 133	23 153	32 860
hrana náhradního čtverce	km	14	15	18
plocha ČR	km ²	78 865	78 865	78 865
poměr pozemků ku ploše ČR	%	0,3	0,3	0,4

Rozdílnost účinnosti pohonů



Pohon spalovacím motorem (nafta, benzín, metan) cca 30 % (výhřevnost paliva – obvod kol)

Trakční elektromotor plus palivový článek (vodík) cca 27 % (distribuční síť 110 kV – obvod kol)

Trakční elektromotor plus lithiový akumulátor cca 70 % (distribuční síť 110 kV – obvod kol) – doplňkový trend

Trakční elektromotor plus liniové trakční vedení cca 80 % (distribuční síť 110 kV – obvod kol) – základní trend

- **jednoznačná orientace dopravy na elektrickou vozbu v kombinaci liniového napájení a zásobníků energie (plus bonus v podobě rekuperace brzdové energie),**
- **preference energeticky méně náročné kolejové dopravy,**
- **liniová elektrizace dopravně silněji zatížených tratí,**
- **úplný odklon od používání uhlovodíkových paliv, zejména fosilních (benzin, nafta, plyn).**

Pro pokrytí energetické spotřeby veškeré dopravy v ČR při její 100 % elektrizaci a převedení části přeprav ze silnice na železnici stačí 24 TWh/rok elektrické energie.

Bez uvažování ztát akumulací je tuto energii je schopna vytvořit moderní agrofotovoltaická elektrárna, zároveň chrání pole před suchem (50 % FV panely plus 50 % zemědělská půda s dvojnásobnými srážkami) s FV panely o ploše 12 000 ha vybudovaná na ploše 24 000 ha, což je 6 % osevní plochy řepky olejné v ČR (400 000 ha).

Dekarbonizace dopravy (snížení její energetické náročnosti a odstranění její závislosti na fosilních palivech) je základním, nikoliv však jediným cílem. Společenská poptávka po změnách v dopravě je podstatně širší:

- **aktivní zapojení celé plochy území města, regionu, státu i světa do společného systému tvorby a spotřeby hodnot,**
- **zvýšení rychlosti a dochvilnosti dopravy osob i věcí,**
- **úplné odstranění emisí zdraví škodlivých látek (zejména NO_x, PAH, PM, ...), neboť zejména ve městech je doprava dominantním znečišťovatelem ovzduší s velmi vážnými zdravotními následky,**
- **zvýšení bezpečnosti dopravy (automatizace provozu – odstranění závislosti bezpečnosti dopravy na lidské chybě),**
- **možnost aktivního využití času stráveného dopravou (bez povinnosti věnovat se řízení vozidla),**
- **doprava jako služba (MaaS – Mobility as a Service), jako jedna z mnoha aplikací na mobilním telefonu, bez potřeby vlastnit dopravní prostředek,**
- **vytvoření podmínek pro bezpečnou, rychlou a zdravou chůzi po městě neohrožovanou a nezdržovanou ostatní dopravou,**
- **minimalizace provozu automobilů v městských ulicích,**
- **minimalizace počtu nečinných (parkujících) automobilů - náhrada parkovišť plochami určenými pro aktivní využití lidmi a k ozdravení životního prostředí zelení a klidem.**

Jak v oboru přepravy osob, tak oboru přepravy věcí, má ve struktuře osídlení s dominantní rolí velkých měst doprava tři základní úlohy:

- **městská doprava: pohyb osob a věcí v rámci měst,**
- **regionální doprava: spojení města s jeho okolím (pokrytí co nejširší oblasti akceptovatelnou izochronou denního dojíždění),**
- **vzájemné propojení velkých měst (a k nim náležících regionů) s dalšími velkými městy (a k nim náležícími regiony) v tuzemsku i v zahraničí pro umožnění součinnosti.**

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 79 TWh/rok největším konečným spotřebitelem energie v ČR,
- spotřeba energie v dopravě vydatně roste (3,5 % ročně),
- energie pro dopravu je z 93 % tvořena fosilními palivy,
- doprava produkuje spalováním fosilních paliv 18 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.

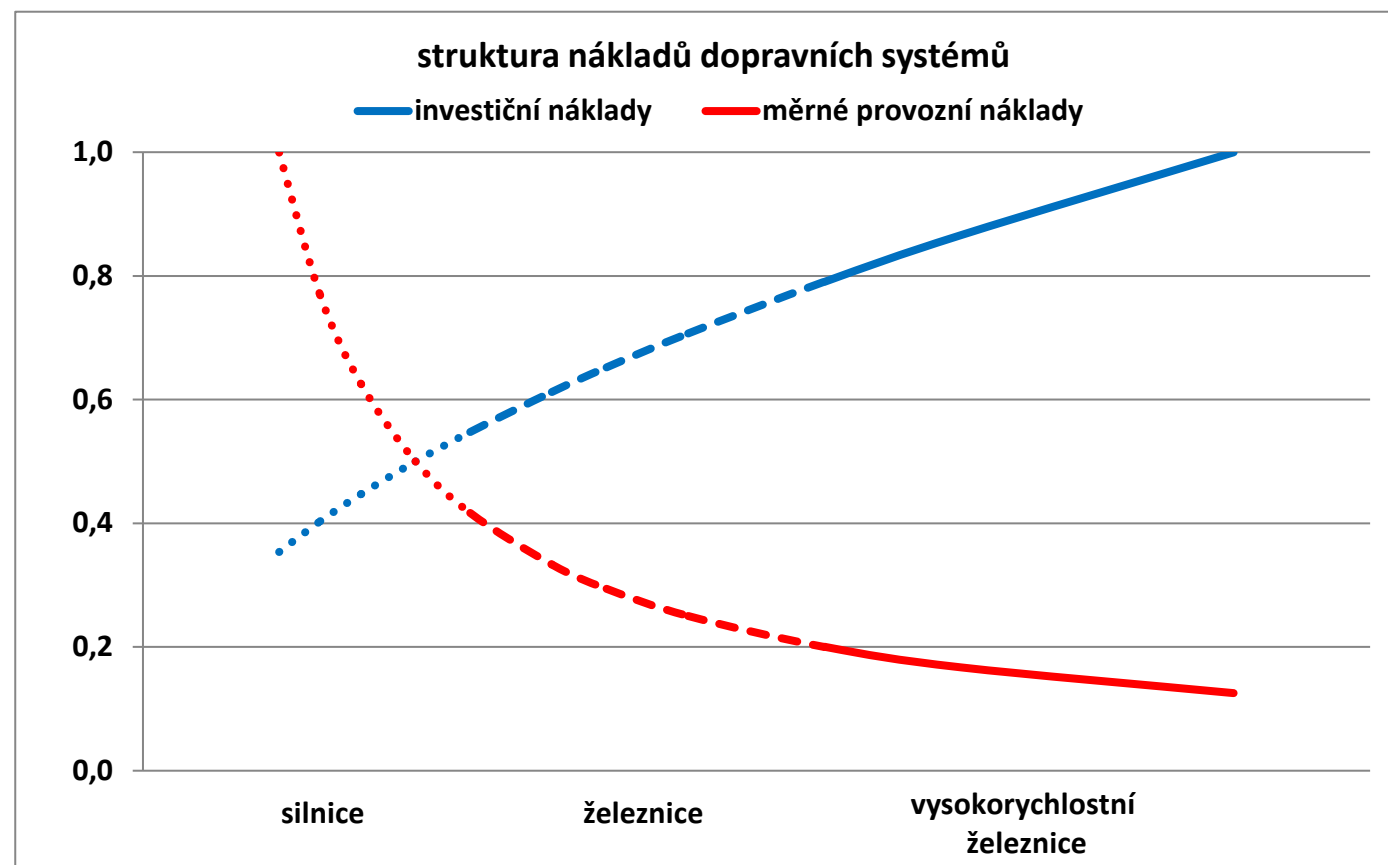
Náhradu za současné pojetí dopravy je multimodální udržitelná mobilita. Je založena jak v oboru přepravy osob, tak i v oboru přepravy věcí na výhradním použití elektrických vozidel (prioritně s liniovým elektrickým napájením, doplňkově se zásobníky energie) a jejím základním principem jsou kooperativnost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

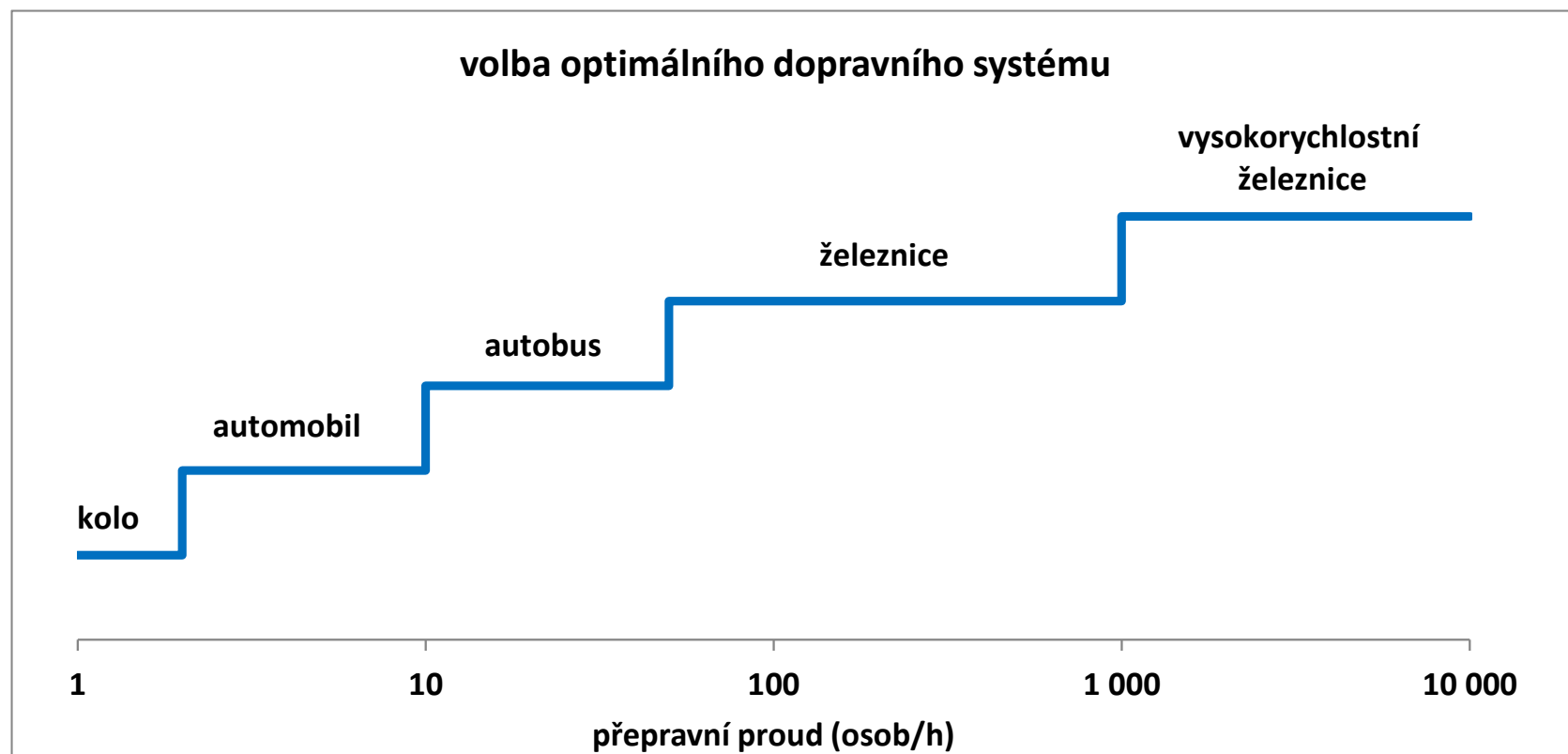
Dopravní cesta má svojí mechanickou, energetickou a informační dimenzi

Ve směru silných a pravidelných přepravních proudů má logiku budovat kvalitní vysoce výkonnou dopravní cestu a tím dosáhnout nízkých provozních nákladů včetně nízké spotřeby energie a nízkých emisí.



Optimální volba dopravního systému je dána intenzitou přepravní poptávky:

- ve směrech slabé či nepravidelné přepravní poptávky není efektivní zřizovat veřejnou hromadnou dopravu, zvládne ji individuální doprava (v současnosti s individuálně vlastněnými dopravními prostředky, v budoucnu veřejná (autonomní vozidla),
- ve směrech silné a pravidelné přepravní poptávky je efektivní zřizovat veřejnou hromadnou dopravu a budovat kvalitní vysoce výkonnou dopravní cestu s náležitou mechanickou, energetickou i informační (řízení a zabezpečení) dimenzí.

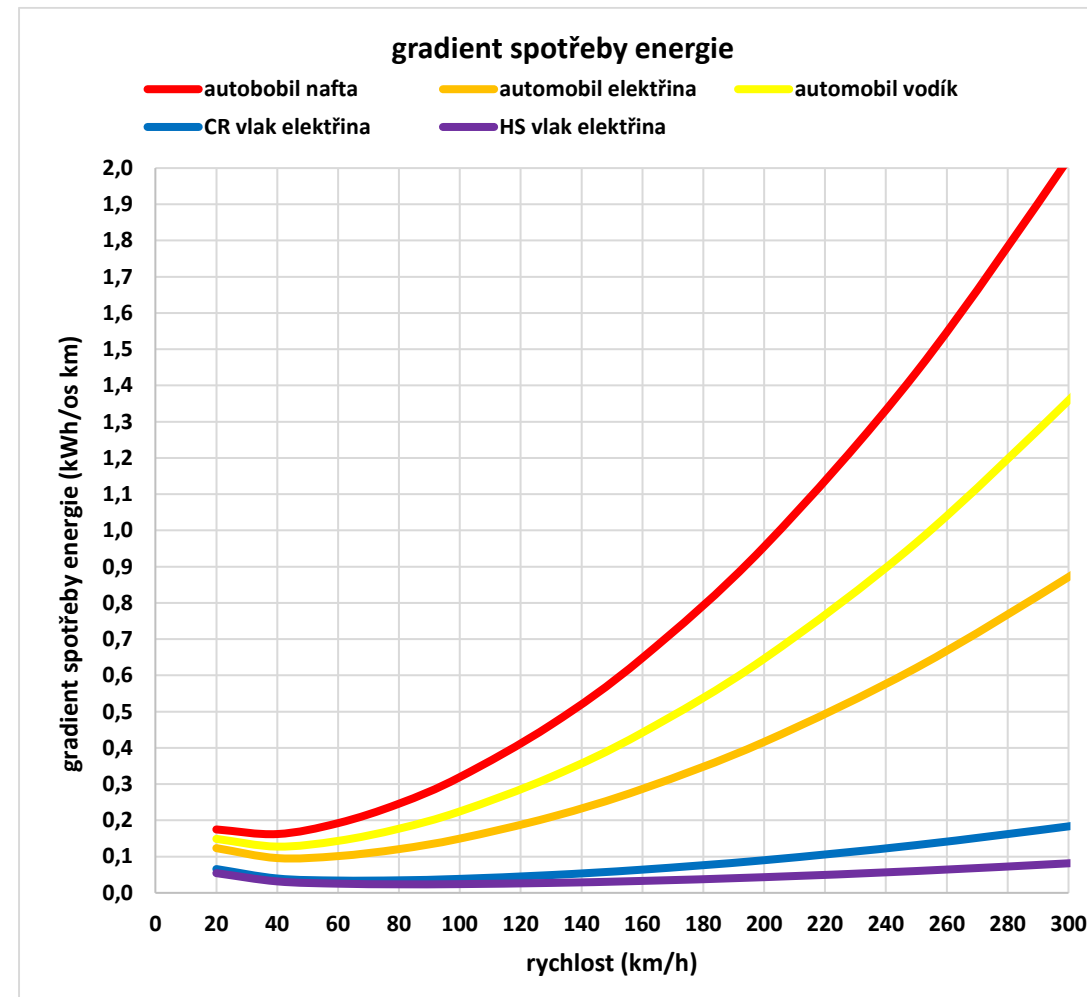


Vlakem rychle, automobilem pomaleji

Pro cestování mezi měst 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.

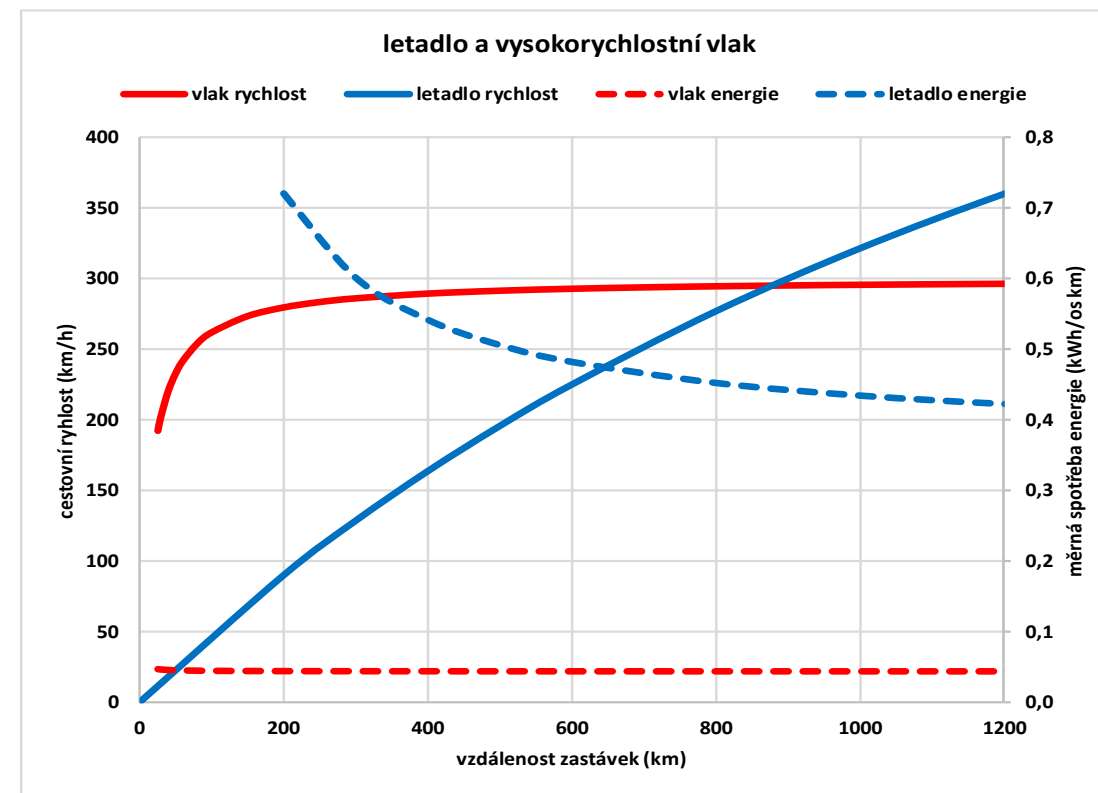
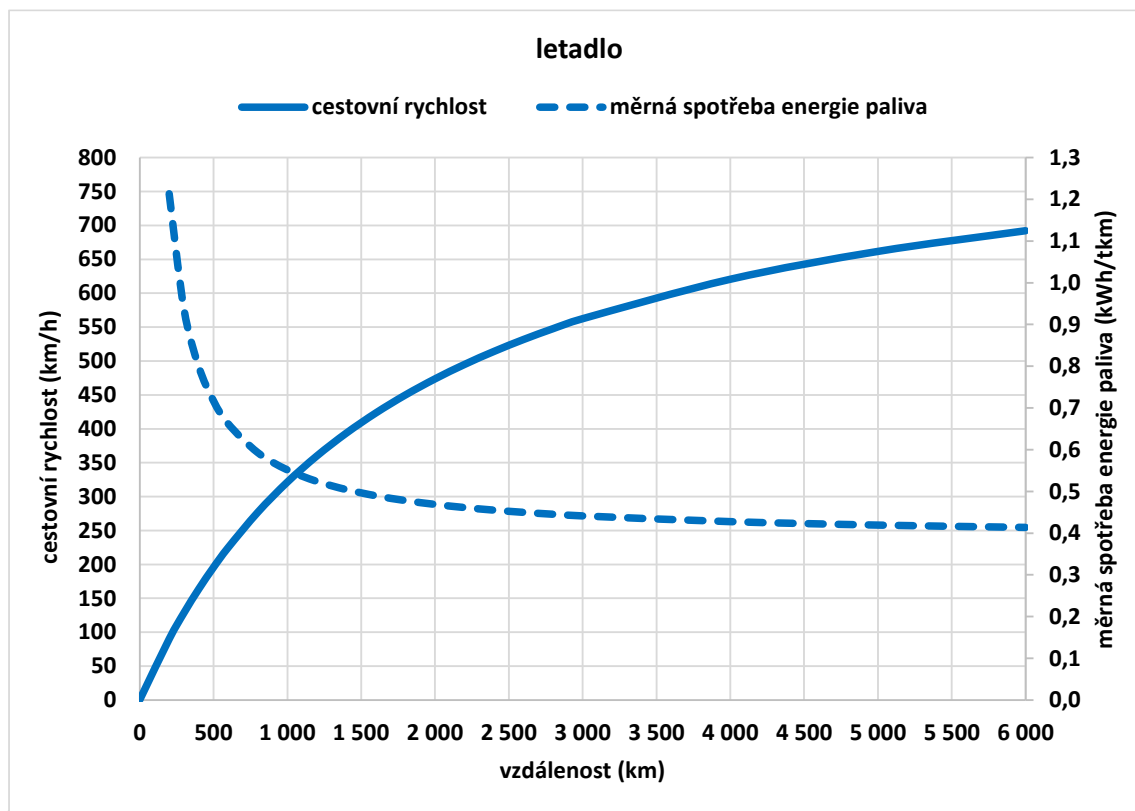
Nejen z bezpečnostních důvodů (automobily jsou řízeny manuálně a to řidiči amatéry), ale i z energetických důvodů je zvýšení rychlosti jízdy automobilů k hodnotám 200 až 300 km/h, které jsou pro časově racionální meziměstské cesty nutností, je automobil nepoužitelný. Automobil je příliš krátký, jeho aerodynamický odpor (úměrný druhé mocnině rychlosti jízdy) je ve vztahu k nízkému počtu přepravovaných osob neakceptovatelně vysoký.

Díky dlouhým aerodynamickým tvarům, 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.



Letadlem a tisíce kilometrů, vlakem na stovky kilometrů

Pro vytvoření podmínek letu (zdvížení do výšky letové hladiny a získání rychlosti potřebné ke vzniku vztlakové síly) vyžaduje letadlo poměrně velkou dávku energie a též i času. Z hlediska spotřeby energie i 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.

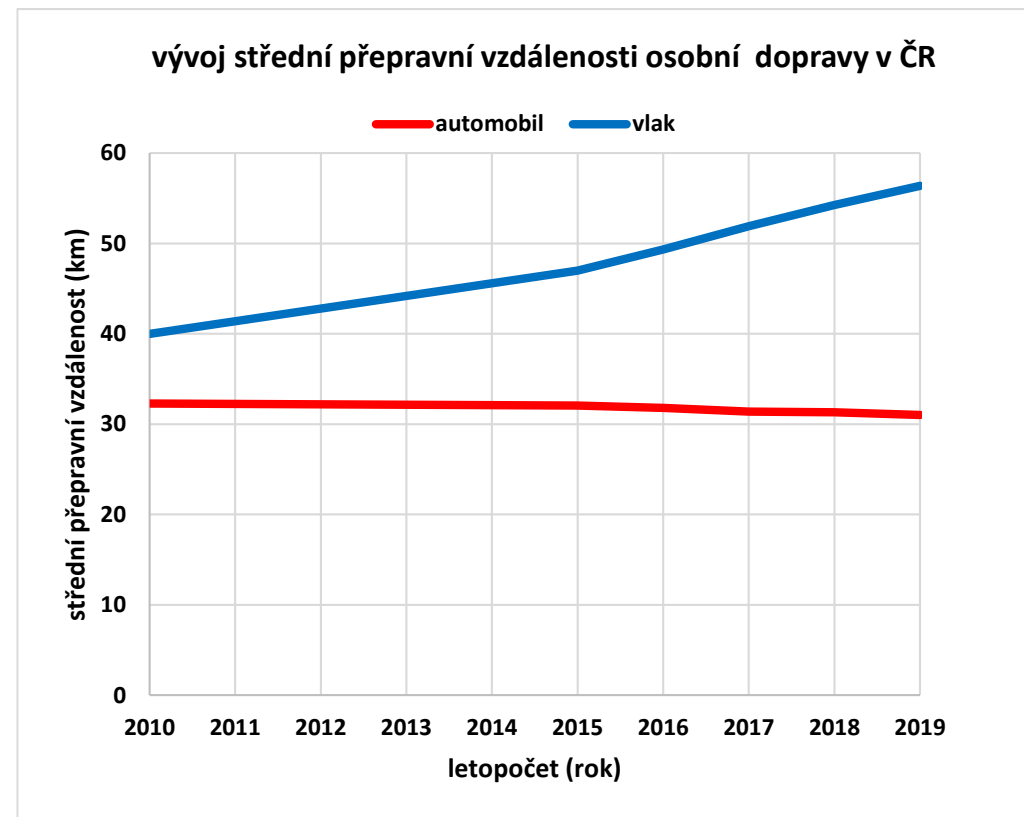
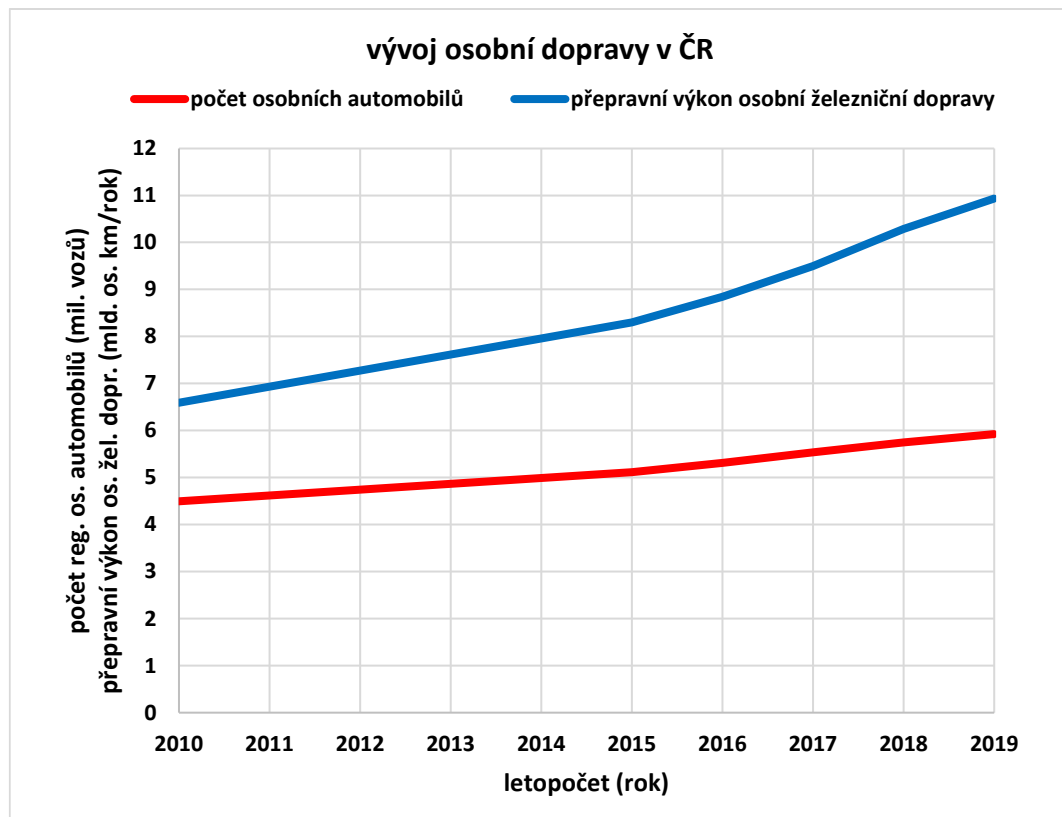


Multimodalita v praxi

Lidé neradi dělají to, co je nebaví.

- chodit na nádraží pěšky či nekomfortní místní dopravou,
- dlouho řídit automobil.

Tak se naučili jezdit osobním automobilem na vlak)pokud je spolehlivý, rychlý a pohodlný. Trvale rostoucí zájem o parkoviště P + R (respektive P + CH + R) je toho dokladem.



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)**

Individuální automobilová doprava se ve srovnání s veřejnou hromadnou dopravou vyznačuje vyšší energetickou náročností, nižší rentabilitou investic do vozidel, danou jejich nižší produktivitou (denní doba využívání – celostátní průměr jen 37 minut denně) i jejich nižším středním obsazením (celostátní průměr obsazení 26 % sedadel), vysoké nároky na plochy komunikací pro jízdu, rozsáhlý zábor veřejných ploch pro parkování (v zástavbě obytných domů obsazují zaparkované automobily větší plochy, než lidské příbytky).

Proto má logiku individuální automobilovou dopravu aplikovat jen ve směrech slabší a nepravidelné přepravní poptávky, kde nemá ekonomické opodstatnění zavádět veřejnou hromadnou dopravu, respektive kde je veřejná hromadná doprava z důvodu slabé přepravní poptávky praktikována v nekomfortně dlouhých intervalech.

Nezávisle na regulatorních opatřeních ze strany EU již i evropští výrobci automobilů programově končí s produkcí automobilů poháněných spalovacím motorem a svůj inovativní a investiční potenciál plně soustřeďují na elektrické automobily.

To se týká i produkce osobních automobilů v ČR, která je z 92 % orientována na export, tuzemská poptávka činí jen 8 %. Trvalý pokles prodeje spalovacích automobilů v Číně či oznámení ukončení možnosti prodeje spalovacích automobilů v Indii (2030) jsou zásadním hybatelem změny portfolia evropských výrobců automobilů. Nechtějí ustrnout v technologiích minulosti a zaostávat za asijskými a americkým průmyslem. Plně se orientují na elektrická vozidla včetně insourcování vývoje a výroby klíčových komponent trakčního pohonu (trakční akumulátory, trakční motory, měniče a řízení).

Éra spalovacích automobilů rychle končí, veškerý vývojový a investiční potenciál je v souladu s požadavky světového trhu upřen k elektrickým automobilům.

V oblasti zásobníků energie se evropští výrobci automobilů z pragmatických důvodů soustřeďují na elektrochemické sekundární články, zejména lithiové (rozumná cena, pro většinu aplikací postačující dojezd, možnost domácího nabíjení, vysoká účinnost, bezúdržbovost, ...).

Vodíkové primární palivové články stojí stranou zájmu (vysoká cena vozidel, velká investiční náročnost infrastruktury, nemožnost domácího nabíjení, sice velký dojezd, ale řídká síť plnicích stanic, nízká účinnost – vysoká energetická náročnost, ...). V tržním prostředí nízká konkurenceschopnost vůči elektrickým vozidlům (vysoké investiční a provozní náklady, syndrom mladšího bratra).

Pokud má opodstatnění, aby v Praze vedle veřejné hromadné dopravy existovala i individuální automobilová doprava, budou to elektrické automobily.

Světový automobilový průmysl, jehož je ČR součástí nabízí a bude nabízet stále pestřejší, dokonalejší a levnější elektrické automobily. Občané a instituce je budou nakupovat. Tématem je dostupnost nabíjecích bodů pro všechny, a to zejména pro inteligentně řízené pomalé nabíjení při parkování, které výborně vyhovuje jak automobilu, tak jeho uživateli a tak i energetické síti (propojení Dopravy 4.0 a Energetikou 4.0 internetem věcí a služeb).

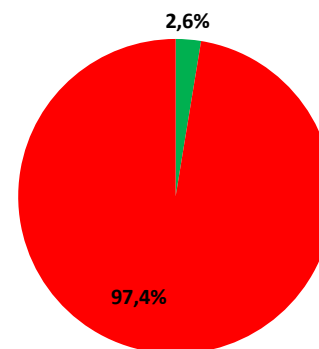
Pracovní režim osobního automobilu v ČR

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

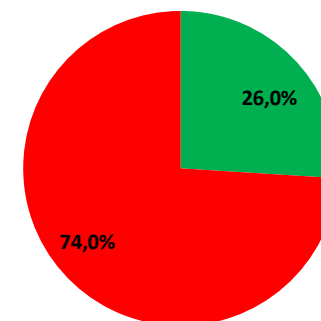
doba využití automobilu

■ provoz ■ parkování



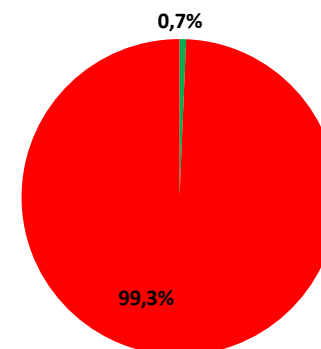
obsazení automobilu

■ obsazená místa ■ volná místa



celkové využití automobilu

■ využito ■ nevyužito

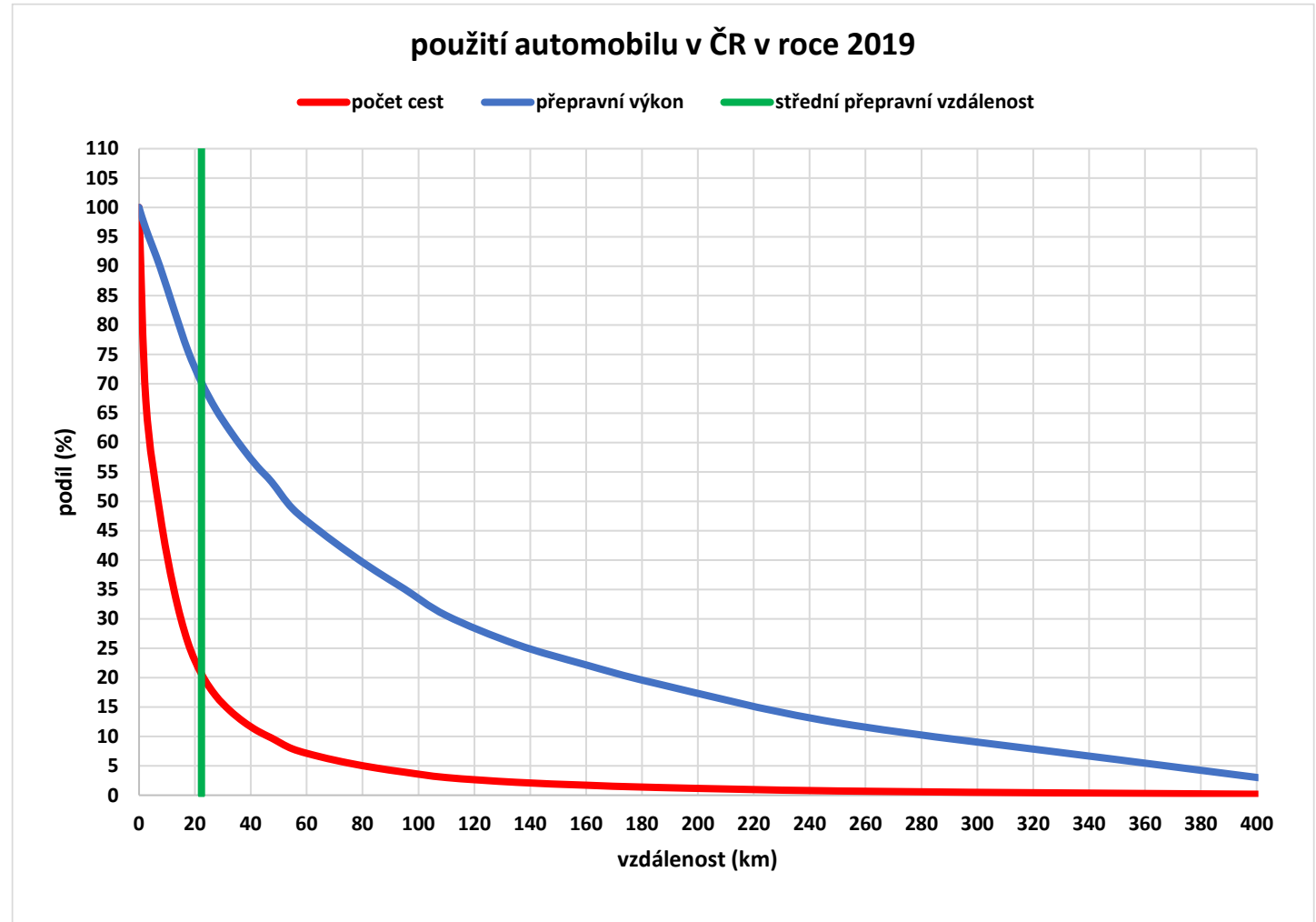


- osobní automobil je v ČR v průměru obsazen 1,3 osobami a denně ujede 29 km.
- v provozu je denně automobil jen 37 minut, zbylých 23 hodin a 23 minut parkuje.
- ⇒ využití investice vložené do osobních automobilů je velmi nízké,
- ⇒ prioritní orientace na veřejnou hromadnou dopravu s řádově vyšším využitím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

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 %



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

Převod osobní dopravy ze silnic (naftové automobily) na elektrizované železnice:

- zhruba 8 x nižší spotřeba energie,
- zásadní snížení globálních exhalací oxidu uhličitého, způsobujících klimatické změny,
- úplné odstranění lokálních exhalací poškozujících zdraví obyvatelstva,
- aktivní využití času stráveného cestováním (train office)

Podmínka: rychlost a kvalita => „pohodlím k úsporám energie“



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 => „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 13 kg CO₂.

Roční úspora (48 cest):

- 10 300 kWh energie
- 2 400 kg CO₂

K vytvoření stejné úspory CO₂ by firma musela za svého pracovníka vysázet 0,35 ha nového lesa.



Efekt náhrady jízd osobních automobilů flotilou 7 jednotek railjet:

- úspora 300 mil. kWh/rok
- úspora 72 000 t CO₂/rok, ekvivalent 10 000 ha nového lesa. To je 45 % plochy katastrální výměry města Brna.

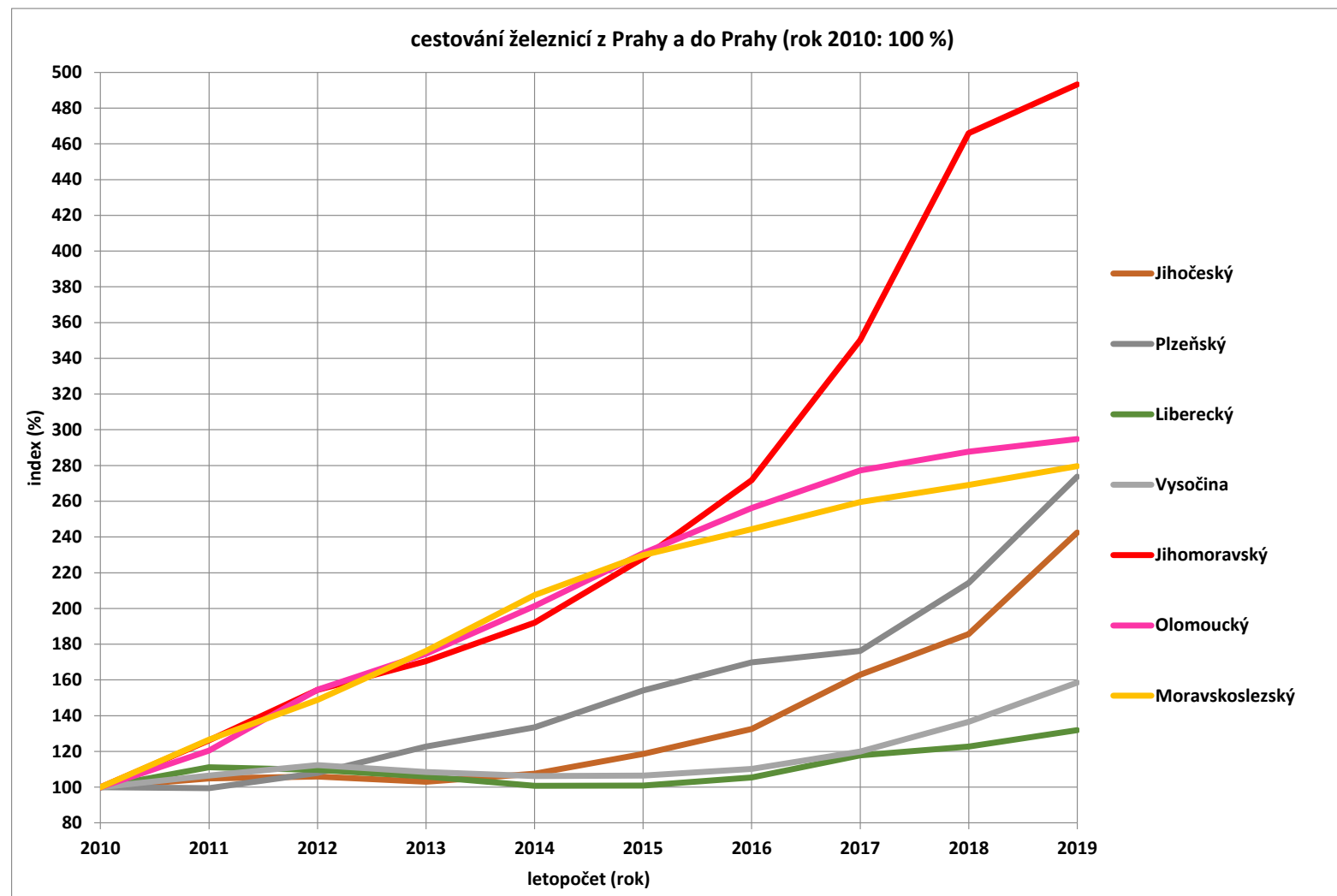
ČR: úspěch koridorů - modernizované tratě a nová vozidla

Generátorem růstu přepravních výkonů železniční osobní dopravy je dálková doprava.

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 2018 na 188 %, přepravní výkony vzrostly v průběhu 8 let v průměru na 220 %).

Mezistátní osobní železniční přeprava narostla v průběhu 7 let 2010 až 2017 na více než pětinasobek.



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



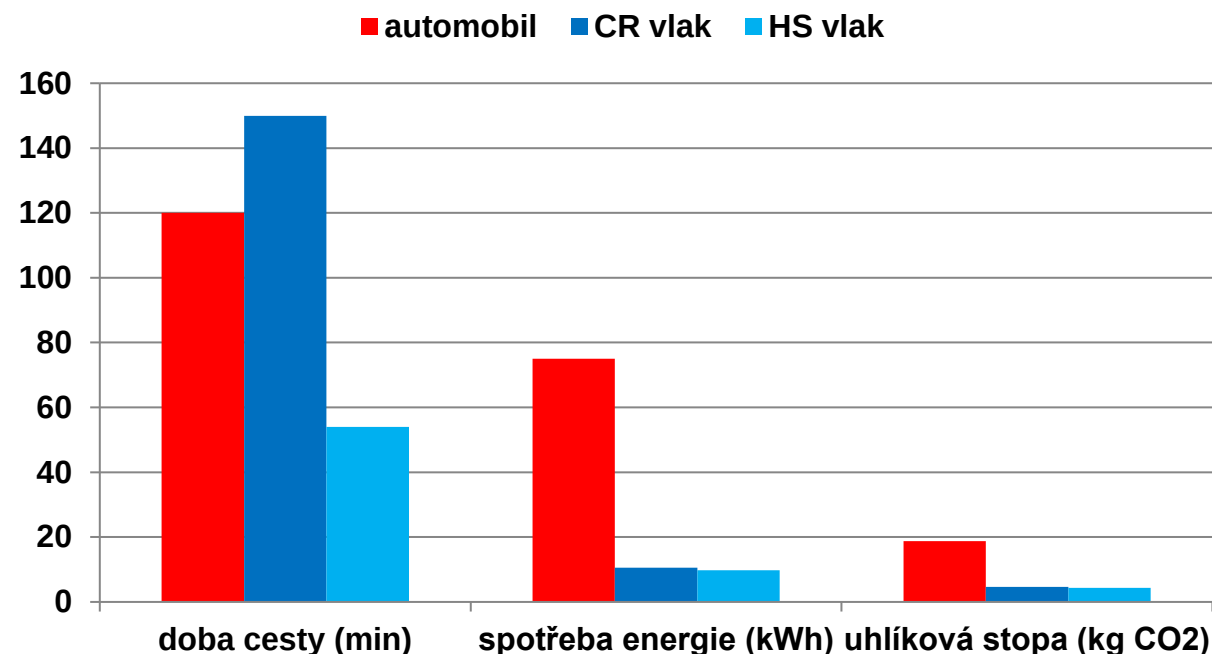
Není důvod ztrácet čas (2 hodiny) a energii (75 kWh a 19 kg CO₂ na osobu) jízdou automobilem z Prahy do Brna.

Vysokorychlostní vlak to zvládne 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).

Spotřebuje k tomu jen 10 kWh a 4 kg CO₂ (perspektivně OZE: 0 kg CO₂) na osobu.



jedna cesta jednoho cestujícího Praha - Brno



Nástroje k extramodálním úsporám energie a exhalací v nákladní dopravě



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 102 kg CO₂.

Roční úspora (52 cest):

- 65 000 kWh energie
- 15 000 kg CO₂

K vytvoření stejné úspory CO₂ by firma musela za svůj kontejner vysázet 2,1 ha nového lesa.

© Siemens Mobility 2022



Efekt náhrady jízdy nákladních automobilů flotilou 10 lokomotiv Vectron:

- úspora 280 mil. kWh/rok
- úspora 64 000 t CO₂/rok, ekvivalent 9 300 ha nového lesa. To je 43 % plochy katastrální výměry města Ostravy.

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 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
Enginnering
Siemens Mobility, s.r.o.

Siemensova 1
155 00 Praha
Česká republika

Mobilit: +420 724 014 931

E-mail: jiri.pohl@siemens.com