

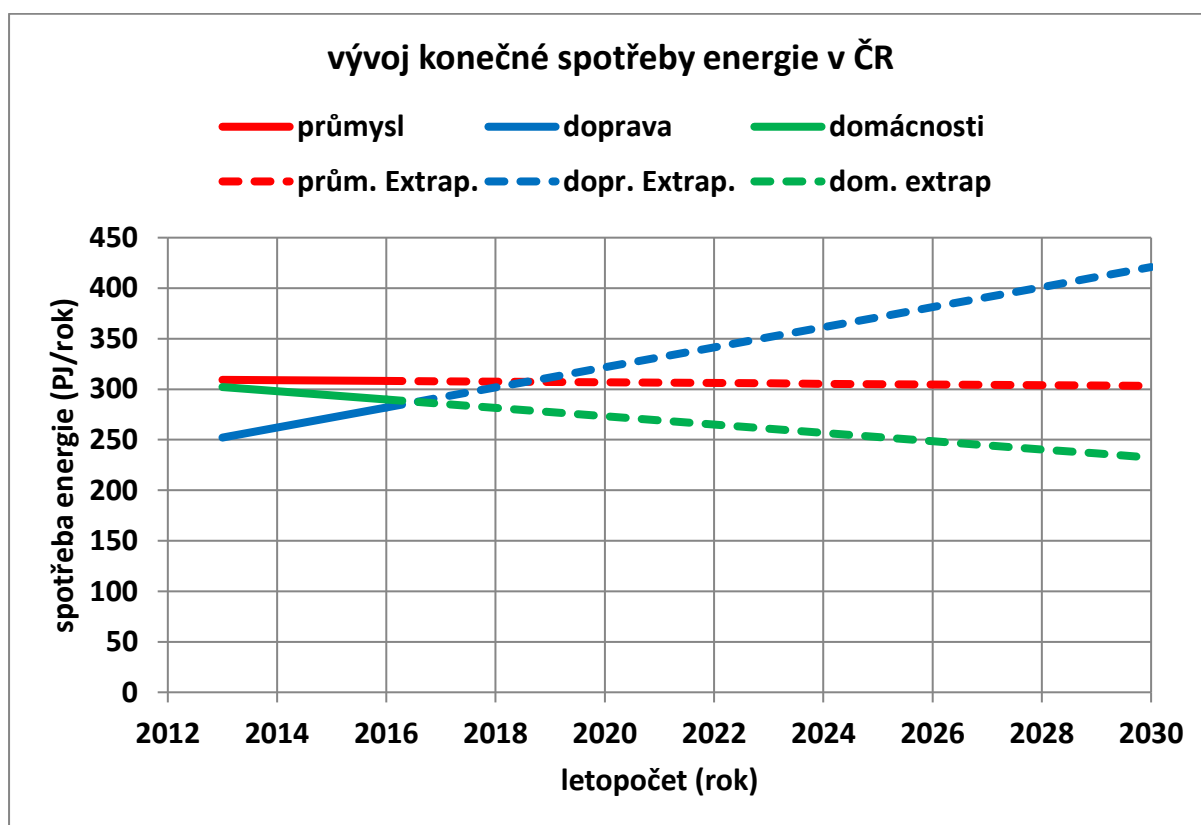
Politika snižování spotřeby energie v dopravě

Cíl: snížení spotřeby energie, produkce oxidu uhličitého (globální exhalace) a produkce zdraví škodlivých látek v dopravě (lokální exhalace)

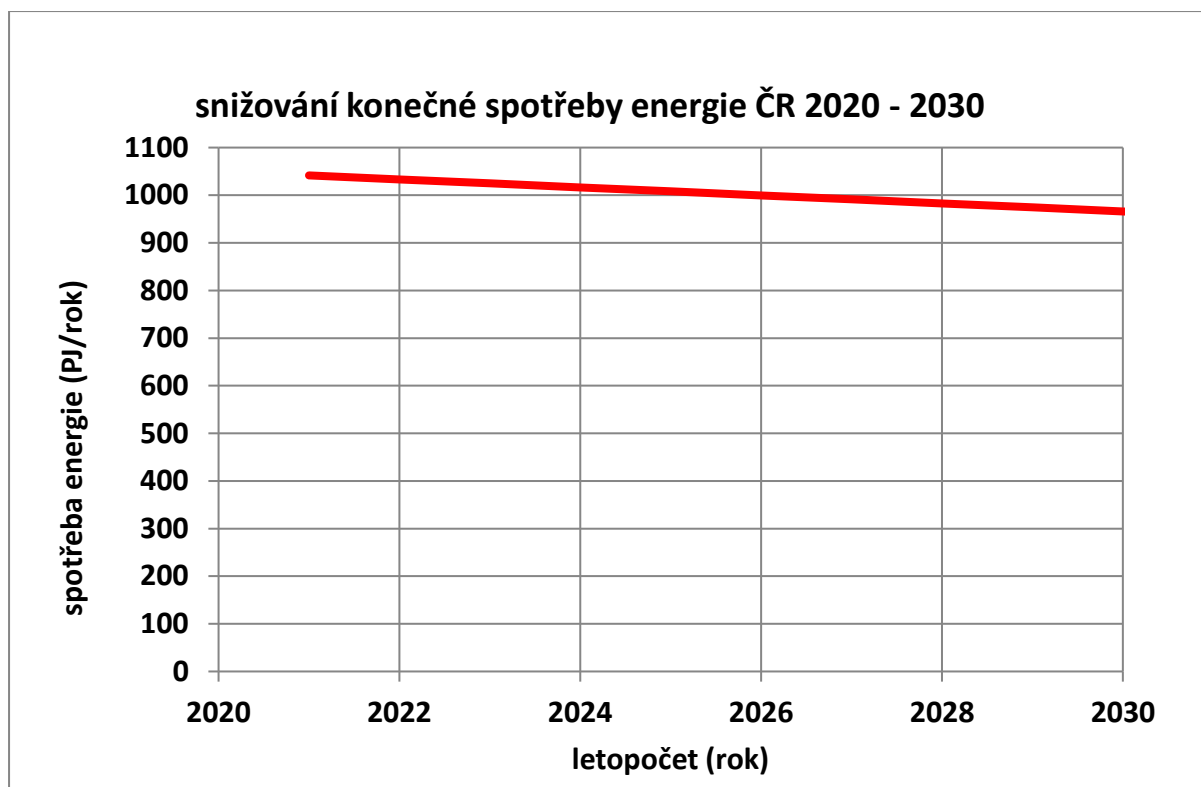
poznámka: třetí cíl není v originále EU obsažen, ale sledovat jej je nutno též – viz úkoly pro dopravu v Národním plánu snižování emisí MŽP ČR

Vstupní informace

Doprava je v ČR největším konečným spotřebitelem energie. V posledním statisticky vyhodnoceném roce 2016 dosáhla v ČR konečná spotřeba energie v dopravě 282 PJ/rok s tendencí růstu posledních tří let (2013 až 2016) o 10 PJ/rok². Tedy ve výchozím roce 2020 lze lineární extrapolací očekávat v ČR konečnou spotřebu energie v dopravě přibližně 320 PJ/rok, což je 30,5 % z očekávané celkové konečné spotřeby energie v ČR 1 050 PJ/rok. To je víc než průmysl (očekávání roku 2020: 305 PJ/rok, to je 29 % z celku) a než domácnosti (očekávání roku 2020: 268 PJ/rok, to je 25,5 % z celku).



ČR si v prosinci 2018 stanovila ve Vnitrostátním plánu v oblasti energetiky a klimatu úkol snížit od roku 2020 do roku 2030 končnou spotřebu energie z výchozí hodnoty 1 050 PJ/rok kumulativně o 462 PJ. To znamená při postupném snižování konečné spotřeby energie mezi roky 2020 a 2030 o 0,8 % za rok (tedy 8,4 PJ/rok²) dosáhnout v roce 2030 úsporu proti roku 2020 o 8 %. Tedy snížení konečné spotřeby energie v roce 2030 oproti roku 2020 o 84 PJ/rok (z hodnoty 1 050 PJ/rok v roce 2020 na hodnotu 966 PJ/rok v roce 2030).

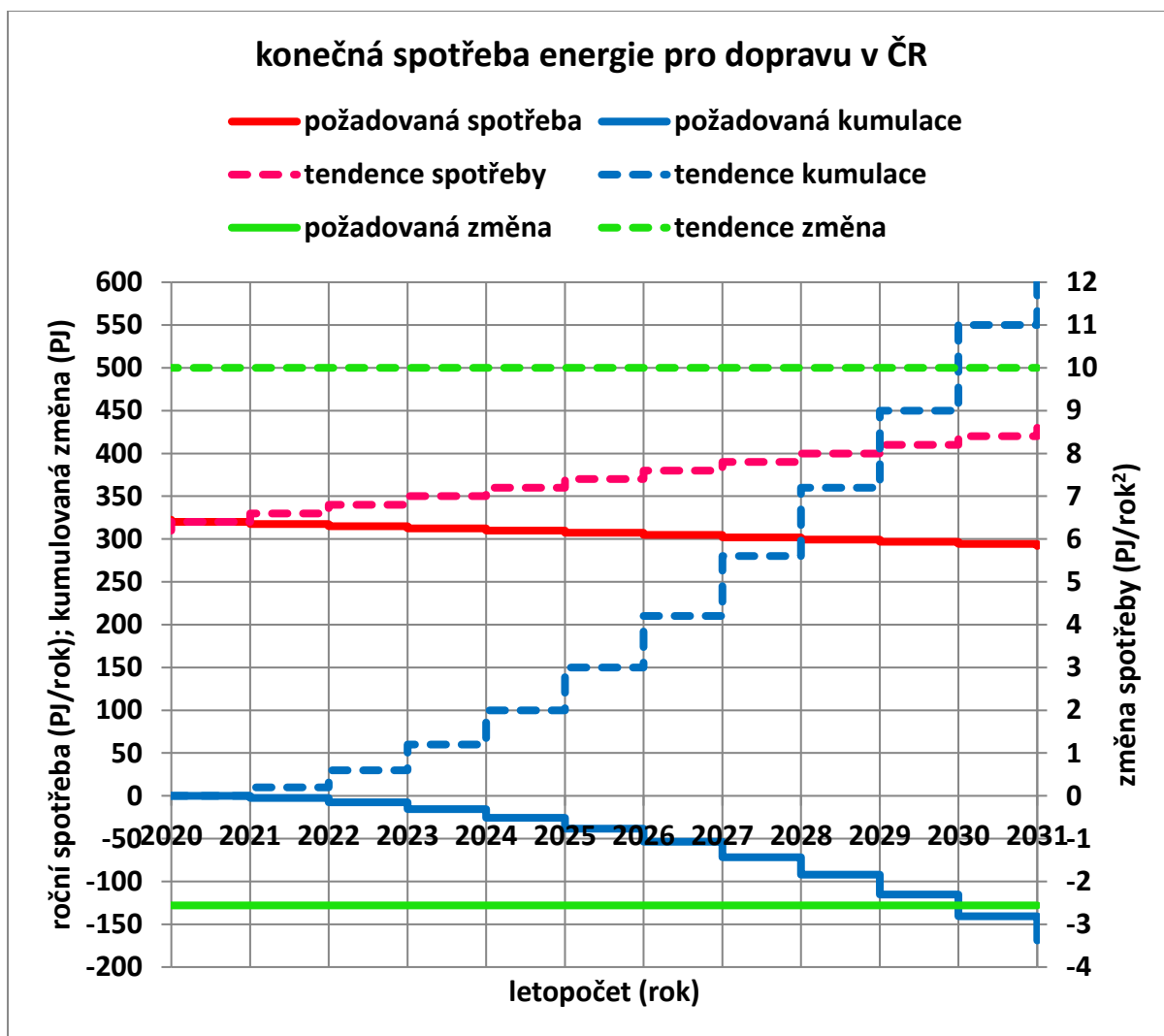


Při rovnoměrném rozdělení úspor na všechna odvětví je potřebné snížit v období 2020 až 2030 kumulativní konečnou spotřebu energie v dopravě o 30,5 % ze 462 PJ, tedy o 141 PJ. To znamená při postupném snižování konečné spotřeby energie v dopravě mezi roky 2020 a 2030 o 0,8 % za rok (tedy 2,56 PJ/rok²) dosáhnout v roce 2030 úsporu proti roku 2020 o 8 %. Tedy snížení konečné spotřeby energie v dopravě v roce 2030 oproti roku 2020 o 26 PJ/rok (z hodnoty 320 PJ/rok v roce 2020 na hodnotu 294 PJ/rok v roce 2030).

Avšak při ponechání dosavadního trendu nárůstu konečné spotřeby energie v dopravě o 10 PJ/rok², tedy o 3,13 %/rok, by konečná spotřeba energie v dopravě kumulativně narostla v letech 2020 až 2030 o 550 PJ místo požadovaného poklesu o 141 PJ. Spotřeba energie v dopravě by se mezi roky 2020 a 2030 zvýšila z 320 PJ/rok na 420 PJ/rok, tedy o 100 PJ/rok (o 31,3 %) místo požadovaného poklesu mezi roky 2020 a 2030 ze 320 PJ/rok na 294 PJ/rok, tedy o -26 PJ/rok (o - 8 %).

K obrácení trendu růstu konečné spotřeby energie v dopravě 10 PJ/rok² (3,13 %/rok) na pokles 2,56 PJ/rok² (0,8 %/rok) je potřebné dosáhnout výsledný pokles konečné spotřeby energie v dopravě 12,56 PJ/rok² (3,93 %/rok). To je téměř pětinásobek (4,91 násobek) proti poklesu celkové konečné spotřeby energie v ČR o 0,8 %/rok.

Celkové kumulované snížení spotřeby energie v dopravě v rozmezí let 2020 a 2030 musí vyrovnat rozdíl mezi trendem nárůstu o 550 PJ poklesem o 141 PJ, tedy kumulovaně je potřebné v dopravě dosáhnout poklesu konečné spotřeby energie o 691 PJ, což je 1,5 násobek celkové kumulované úspory konané spotřeby energie v ČR (462 PJ). Jinak ČR své cíle v oblasti konečné spotřeby energie nesplní.

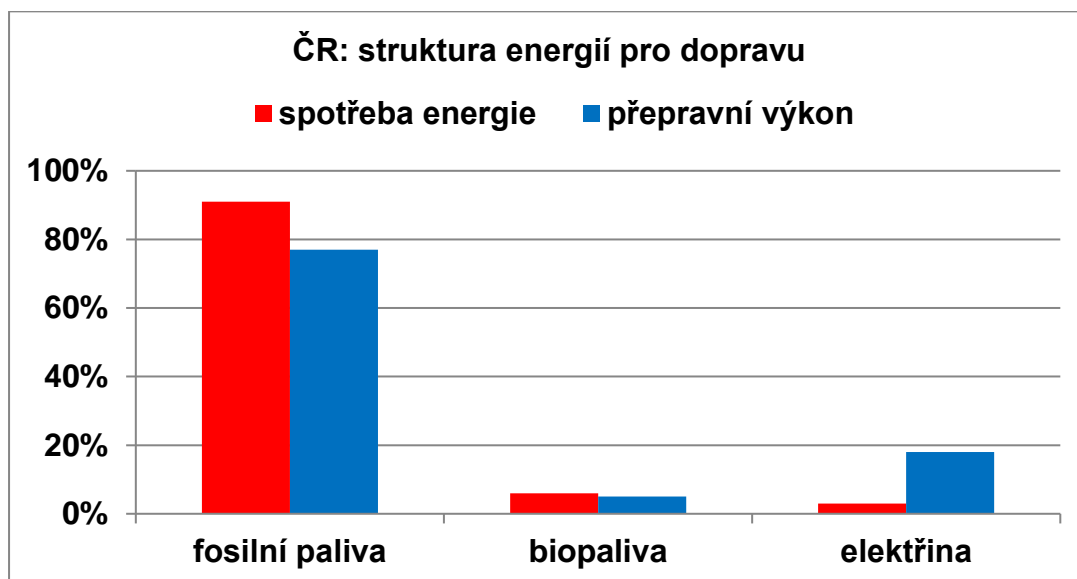


Oblast		celkem	doprava	doprava	doprava	doprava
Scénář		plán	plán	trend	rozdí	poměr
výchozí rok	rok	2020	2020	2020	2020	2020
výchozí spotřeba	PJ/rok	1 050	320	320	320	320
Podíl	%	100,00	30,48	30,48	30,48	30,48
cílový rok	rok	2030	2030	2030	2030	2030
do období	rok	10	10	10	10	10
poměrný roční přírůstek úspory	%/rok	-0,80	-0,80	3,13	-3,93	4,91
roční přírůstek úspory	PJ/rok/rok	-8,40	-2,56	10,00	-12,56	4,91
poměrná úspora v posledním roce	%	-8	-8	31,25	-39,25	4,91
úspora v posledním roce	PJ/rok	-84	-26	100	-126	4,91
kumulovaná úspora za období	PJ	-462	-141	550	-691	4,91

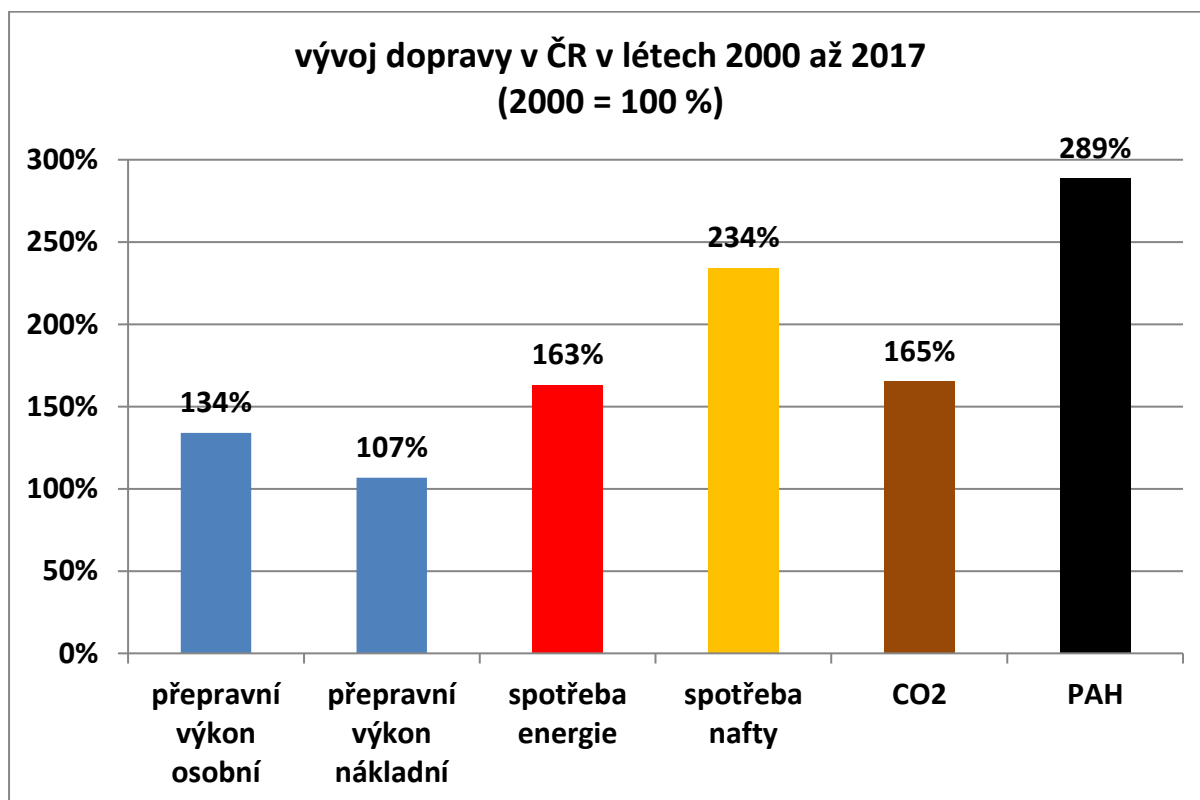
Velmi závažná je i skutečnost, že 97,5 % konečné spotřeby energie v dopravě tvoří uhlovodíková paliva. V úrovni roku 2020 je to 312 PJ/rok. Při uvažování 30 % účinnosti spalovacích motorů v dopravních prostředcích je ztráta nevyžitím odpadního tepla 218 PJ/rok. To je na úrovni 80 % konečné spotřeby energií v domácnostech (273 PJ/rok).

Spalováním uhlovodíkových paliv v dopravních prostředcích dále vznikají v těsné blízkosti pobytu obyvatelstva jedovaté látky, zejména oxidy dusíku, jemné prachové částice a polyaromatické

uhlovodíky, které vážně poškozují lidské zdraví. Odbornými pracovišti MŽP ČR je odhadováno, že poškozování lidského zdraví a životů exhalacemi je přibližně desetinásobkem poškozování lidského zdraví a životů dopravními nehodami.

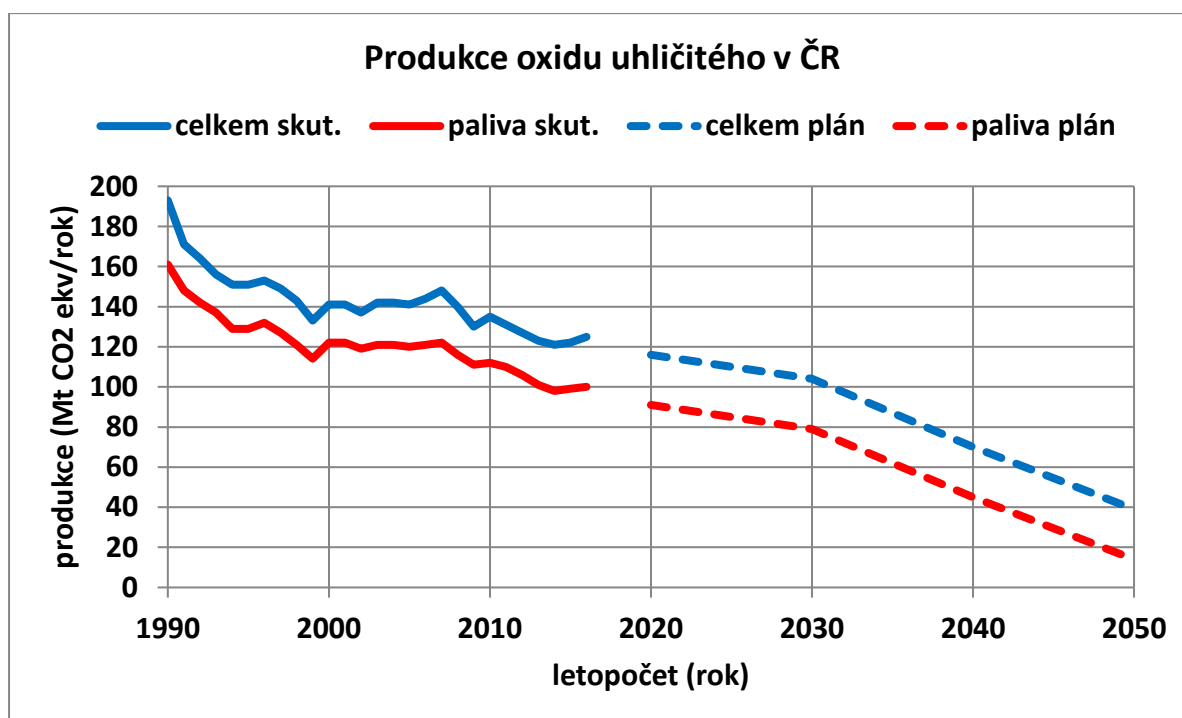


Zejména v posledních letech je vývoj negativních vlivů dopravy na životní prostředí a na zdraví obyvatelstva velmi negativní. Systémové změny jsou nutností, současný stav není udržitelný.

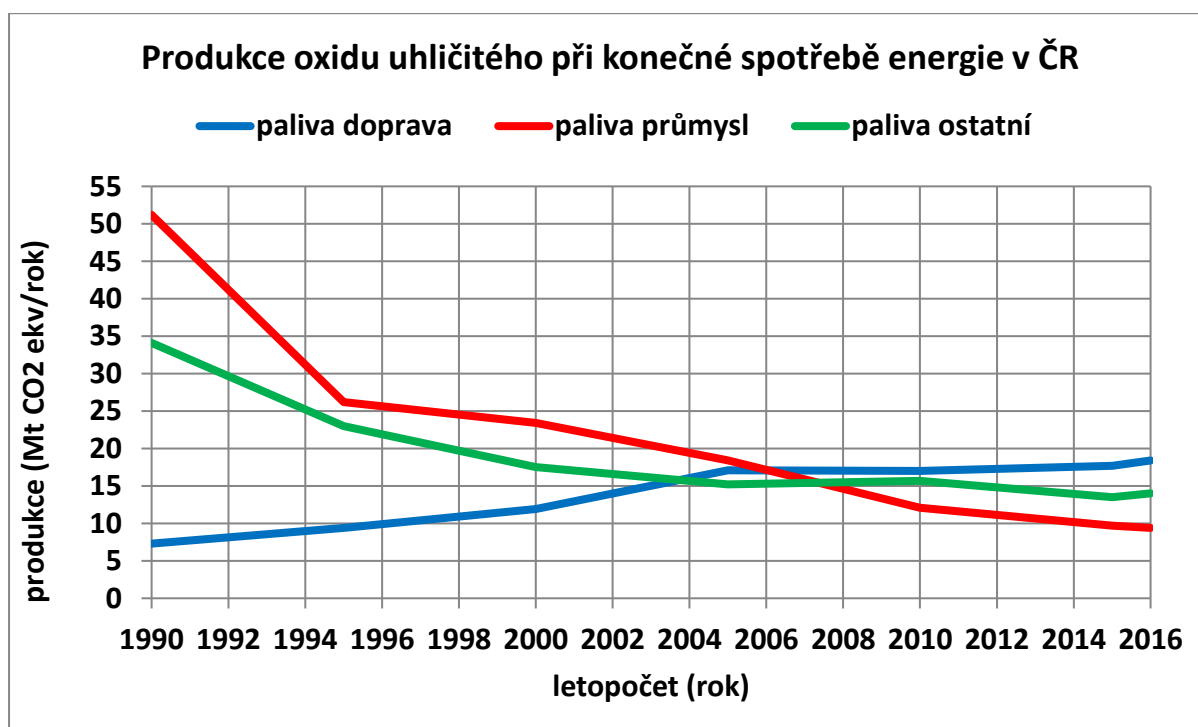


ČR si v prosinci 2018 stanovila ve Vnitrostátním plánu v oblasti energetiky a klimatu úkol snížit od roku 2020 do roku 2030 produkci oxidu uhličitého z výchozí hodnoty 116 Mt CO₂ ekv./rok na hodnotu 104 Mt CO₂ ekv./rok. Po odečtení vlivu ostatních aktivit to pro oblast použití paliv znamená

snížení produkce oxidu uhličitého z výchozí hodnoty 91 Mt CO₂ ekv./rok na hodnotu 79 Mt CO₂ ekv./rok.



Zhruba 94 % z uhlovodíkových paliv spotřebovaných v dopravě tvoří fosilní paliva, tedy ropné produkty (automobilový benzín a motorová nafta) a zemní plyn, jejich spotřeba činí 293 PJ/rok. Při měrné uhlíkové stopě 0,25 kg CO₂/kWh, tedy 0,07 Mt CO₂/PJ činí produkce oxidu uhličitého spalováním fosilních paliv v dopravě 20,5 Mt CO₂/rok. To je více než dvojnásobek produkce oxidu uhličitého spalováním fosilních paliv v průmyslu (9 Mt CO₂/rok) a více než produkce oxidu uhličitého spalováním fosilních paliv v domácnostech (14 Mt CO₂/rok).



Zadání:

Draft guidance document on the energy savings obligation and on common methods and principles for calculating the impact of policy measures under revised Energy Efficiency Directive

ANNEX VII

Transport sector policies which go beyond EU regulation

In the transport sector, in addition to energy / CO₂ tax measures, policies at the national, regional and local level can generate energy savings by:

- (i) avoiding the need to travel;
- (ii) shifting travel to more energy efficient modes; and
- (iii) improving the efficiency of transport modes.

- (i) Snižování přepravní náročnosti
- (ii) Převedení přeprav na energeticky více efektivní druhy dopravy (extramodální úspory)
- (iii) Zvyšování energetické účinnosti jednotlivých druhů dopravy (intramodální úspory)
 - (iii.a) zavádění nových vozidel s vyšší energetickou účinností
 - (iii.b) zvyšování poměru nových úsporných vozidel na přepravních výkonech
 - (iii.c) úsporné provozování starších vozidel s nízkou energetickou účinností

Řešení:

ad (i) Snižování přepravní náročnosti

Odstranění zbytečných přeprav má potenciál jak v dopravě osob, tak v dopravě věcí:

Doprava osob

- a) Polycentrická struktura osídlení

dílčí cíl: posílení funkce odlehlých regionů s cílem rovnoměrného zapojení celé plochy území státu do systému tvorby a spotřeby hodnot. Rozvojem zdravé polycentrické struktury osídlení nahradit posilování přebujelé monocentrické struktury osídlení s vysokou přepravní náročností do jediného silného centra.

nástroj: kvalitní bezemisní veřejná meziregionální doprava, propojující vysokorychlostními železnicemi jednotlivé regiony tak, aby se in odlehlejší regiony mohly podílet na všech aktivitách státu (vzdělání, zaměstnanost, zdravotní péče, veřejná správa, cestovní ruch, ...).

- b) Bydlení i ve městech a nejen za městy

dílčí cíl: návrat obytné funkce centrální části měst. Zbavit města negativních vlivů nadměrné zátěže povrchovou dopravou, zejména individuální. Proměnit parkoviště zpět v parky a tržiště. Tím umožnit

rodinám s dětmi opět žít ve městech a neunikat za tichem a čistým vzduchem za město, což je spojeno s každodenním dojížděním.

nástroj: kvalitní bezemisní veřejná doprava ve městech – hromadná i individuální. V relacích silných přepravních proudů rozvoj hromadné dopravy v elektrické vozbě, v oblastech slabých a nepravidelných přepravních proudů sdílené autonomní elektrické automobily (náhrada vlastnictví automobilu automobilem jako službou, jednou z mnoha aplikací na mobilním telefonu – trend mladé generace, která si nechce komplikovat život odpovědností za majetek).

c) Náhrada silničních okruhů kvalitní veřejnou hromadnou dopravou přímým směrem

dílčí cíl: zastavit neefektivní trend budování silničních okruhů, který logicky vede k jízdě po delší trajektorii, tedy ke zvyšování přepravních výkonů (os km) a tím i k růstu spotřeby energie a exhalací. Typicky Praha: po vybudování laickou veřejností požadovaných silničních okruhů pro automobily by podle výpočtů vzrostla spotřeba energie pro dopravu v Praze o cca 20 % úměrně tomu i exhalace jedovatých látek. Je potřeba zkracovat, nikoliv prodlužovat, dopravní trajektorie.

Nástroj: zkracovat dopravní trajektorie. Například vybudovat tangenty metra (Praha 4 – Praha 5, Praha 9 – Praha 10, ...), které odstraní jízdu závlekem přes centrum.

d) Rozvoj pěší chůze

dílčí cíl: zamezit plýváním dopravou při přepravě na krátké vzdálenosti (typický příklad: dovoz dětí do školy a na zájmové činnosti automobilem – studeným a popojíždějícím, manipulujícími a produkujícími toxické zplodiny hoření v těsné blízkosti pobytu dětí)

Nástroj: vytvoření podmínek pro bezpečnou a plynulou pěší chůzi hezkým a zdravým prostředím (i pro děti, bez nutnosti doprovodu dospělou osobou).

Doprava věcí

a) Internalizace externalit

Dílčí cíl: neplýtvat dopravou. Věstník dopravy MD ČR č. 11/2013 jasně definuje vnější náklady dopravy. Ty činí v cenové úrovni roku 2019 u těžkých nákladních automobilů 2,78 Kč/tkm a u lehkých nákladních automobilů dokonce 20,92 Kč/tkm. Tyto náklady nese neadresně stát. Je potřeba tyto náklady přenést na dopravce a přes ně na konečné spotřebitele a tím je motivovat k šetření dopravou.

Nástroj: Využít satelitní technologie mýta ke zpoplatnění pohybu všech automobilů po jakýchkoliv komunikacích. Tím odstranit dopravu pitné vody či denního pečiva na vzdálenost stovek kilometrů, či dovoz denních nákupů vozidlem, jehož hmotnost je 200 x vyšší, než hmotnost přepravovaného zboží

b) Průmysl 4.0

Dílčí cíl: neplýtvat dopravou v průběhu tvorby hodnot. Z důvodu nízké ceny pracovní síly v některých lokalitách jsou k vykonání jednoduchých manuálních operací výrobky zbytečně převáženy tam a zpět na velkou vzdálenost.

Nástroj: kombinací zvýšení ceny dopravy na úroveň celkových společenských nákladů (viz předchozí bod internalizace externalit) a principů Průmyslu 4.0 snížit přepravní náročnost výroby (tvorby HDP). To znamená využívat stále více deficitní lidskou pracovní sílu výhradně jen k tvořivé práci, nikoliv k opakovaným činnostem, které efektivněji než lidé zvládnou stroje. To umožní koncentrovat výrobu a tím výrazně snížit její přepravní náročnost (odstranit nadbytečné technologické přepravy).

c) Nakupování

Dílčí cíl: neplýtvat dopravou v průběhu spotřeby hodnot. Systematicky řešit drobné nakupování – minimalizovat rozvoz nákupů o hmotnosti několika kilogramů vozidly o hmotnosti několika tun

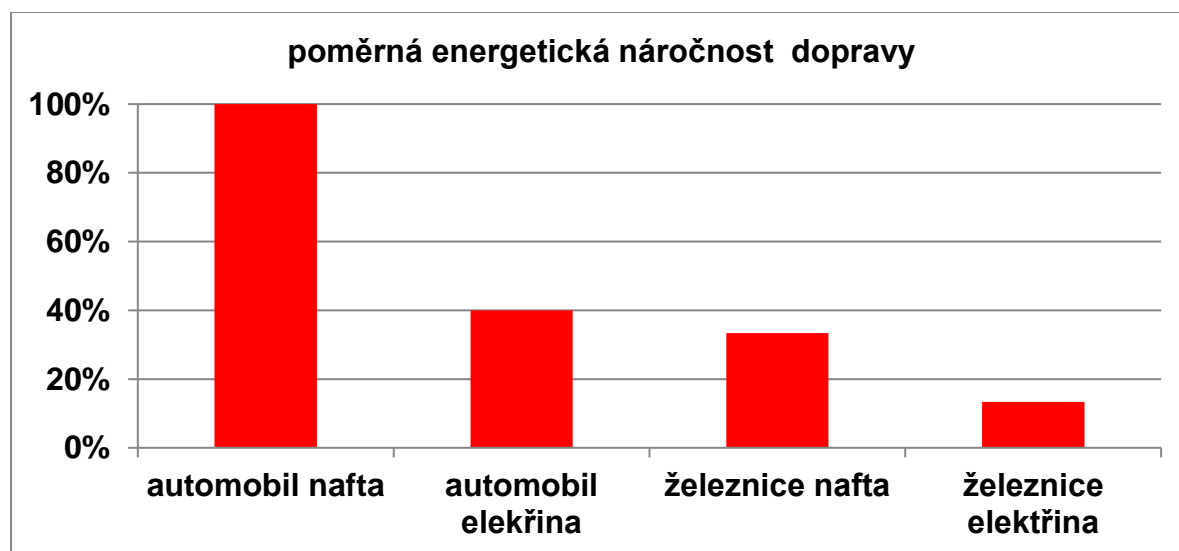
Nástroj: spojit cestu z práce veřejnou hromadnou dopravou s běžnými denními nákupy (typický příklad: rychlé nakupování v obchodech na nádražích či v přestupních terminálech).

ad (ii) Převedení přeprav na energeticky více efektivní druhy dopravy (extramodální úspory)

Převedení přeprav osob a věcí z energeticky a emisně silně náročných druhů dopravy na energeticky a emisně méně náročné druhy dopravy má velmi významný potenciál úspor. Při převodu přepravy jak osob, tak i věcí, ze silniční dopravy zajišťované automobily se spalovacími motory na železnici v elektrické vozbě (respektive na městskou hromadnou dopravu v elektrické vozbě) dochází k poklesu spotřeby energie na cca 13 % (úspora 87 %), neboť se uplatňuje součin dvou faktorů:

- snížení potřebné měrné trakční práce (kWh/oskm, respektive kWh/tkm) přibližně na jednu třetinu (nižší valivý odpor ocelových kol a nižší aerodynamický odpor vozidel jedoucích v těsném zákrytu),
- zvýšení účinnosti trakčního pohonu na 2,5 násobek (ze 30 % na 75 %) náhradou nehošpodárného spalovacího motoru podstatně účinnějším elektromotorem.

V součinu je tedy konečná spotřeba energie kolejové dopravy s elektrickou vozbou zhruba $3 \cdot 2,5 = 7,5$ krát nižší, než konečná spotřeba energie silniční dopravy zajišťované vozidly poháněnými spalovacími motory.



Spolu s poklesem spotřeby energie klesají i globální exhalace poškozující klima na Zemi (emise CO₂), a to ve spojitosti se strukturálními změnami v elektrárenství velmi intenzivně. Lokální emise toxických zplodin spalování paliv, silně poškozujících lidské zdraví, klesají se současných nadlimitních hodnot na nulu.

Přesun přepravních výkonů na energeticky méně náročné druhy dopravy je však podmíněn dvěma okolnostmi:

- cestující a přepravci musí mít důvod (pozitivní motivaci) k orientaci na veřejnou hromadnou dopravu (rychlost, dochvilnost, spolehlivost, kvalita, cena, dostupnost, ...)
- železnice (respektive kolejová MHD) musí mít kapacitu a výkonnost zvýšenou přepravní poptávku zvládnout.

Podle statistik MD ČR zajišťovaly v ČR v roce 2017 automobily poháněné spalovacími motory 60 % přepravních výkonů osobní dopravy a 70 % přepravních výkonů nákladní dopravy. Nejvíce jsou tedy využívány dopravní módy, které se vyznačují extrémně vysokou energetickou náročností (kolem 0,51 kWh/oskm v dopravě osob a 0,38 kWh/tkm v dopravě věcí) a extrémně vysokou produkcí oxidu uhličitého (kolem 0,13 kg CO₂/oskm v dopravě osob a 0,1 kg CO₂/tkm v dopravě věcí), což je dáno jejich téměř výhradní orientací na fosilní paliva (cca 94 % uhlovodíkových paliv pro dopravu je v ČR tvořeno fosilními palivy - ropnými palivy a zemním plynem).

S ohledem na tak významný podíl vysoce ne hospodárných vozidel je potenciál úspor energie i globálních i lokálních emisí převodem silniční dopravy na železnice s elektrickou vzbou velmi značný. Tento trend je spontánně podporován i stále se prohlubujícím nedostatkem pracovních sil pro řízení vozidel, neboť produktivita práce strojvedoucího nákladního vlaku je až 50 násobně vyšší, než produktivita práce řidiče nákladního automobilu). Pochopitelně nejde o direktivní náhradu automobilové dopravy železnicí, ale o kooperaci (spolupráci) a komplementárnosti (doplňování se) jednotlivých druhů dopravy, která je základem udržitelné bezemisní multimodální mobility. Ta se řídí vyváženým poměrem fixních a variabilních nákladů:

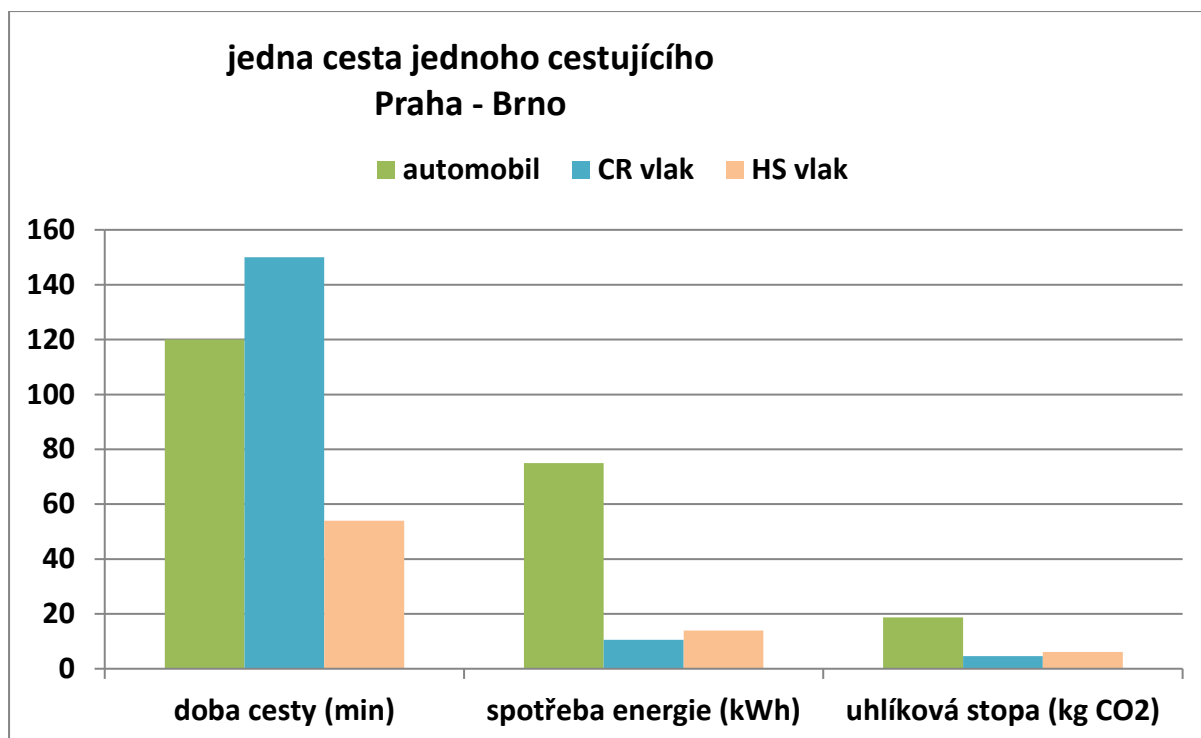
- silné a pravidelné přepravní proudy: kolejová doprava po tratích s liniovou elektrizací,
- slabé a nepravidelné přepravní proudy: silniční automobilová doprava.

Doprava osob

a) železniční dopravní cesta

dílčí cíl: vytvoření kvalitní a kapacitní sítě konvenčních i vysokorychlostních železnic z hlediska přepravních potřeb EU i ČR,

nástroj: vybudování sítě vysokorychlostních železnic (HS, rychlost 350 km/h) a modernizace sítě konvenčních železnic (CR, rychlost 200 km/h),



b) železniční vozidla

dílčí cíl: nabídka rychlého a pohodlného cestování kvalitními moderními vozidly

Současnost je tristní. Průměrné stáří osobních vozů 35 let, průměrné stáří lokomotiv 30 let, ani mnohé expresní vlaky nevyužívají již před 20 lety zavedenou traťovou rychlost 160 km/h a z důvodu nedostatku vhodných vozidel se pohybují po tranzitních koridorech rychlostí jen 140 km/h.

S ohledem na trvale rostoucí přepravní poptávku (v rozmezí 7 let 2010 až 2017 vzrostly na české železnici přepravní výkony o 44 %, tedy v průměru o 6,3 % ročně), je nutno řešit nejen prostou reprodukci parku vozidel (při životnosti 30 let obměna 3,3 % vozidel ročně za nová), ale i zvýšit kapacitu přepravní nabídky (viz meziroční 6,3 % nárůst).

nástroj: generační obnova parku vozidel za nová výkonnější, rychlejší a pohodlnější, též spojená s růstem jeho přepravní kapacity,

c) železniční doprava v závazku veřejné služby

dílčí cíl: atraktivní jízdní řád - nabídka rychlého a pohodlného cestování vlaky provozovanými v krátkém taktu a s potřebnou přepravní kapacitou,

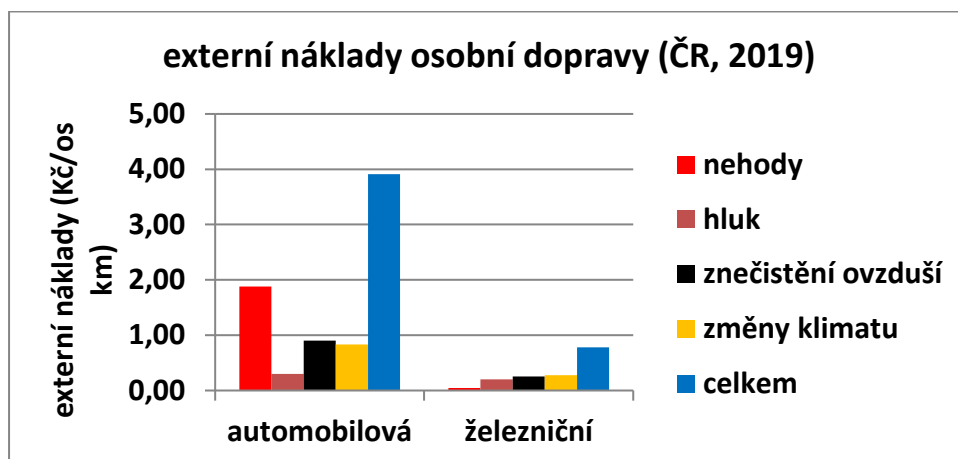
nástroj: objednávka veřejné hromadné dopravy cílená na motivaci cestujících k použití veřejné hromadné dopravy její vysokou kvalitou (rychlost, pohodlí, četnost spojů, návaznost přestupů na veřejnou i individuální dopravu), zahrnující v úhradě i zdroje pro obnovu parku vozidel (pro prostou reprodukci i pro růst přepravní nabídky).

d) tarifní politika

dílčí cíl: atraktivní tarif - nabídka cenově dostupného cestování veřejnou hromadnou dopravou s nízkou energetickou náročností a s příznivými environmentálními vlivy,

nástroj: financovat veřejnou hromadnou dopravu z rozdílu vysokých externích nákladů individuální dopravy a nízkých externích nákladů veřejné hromadné dopravy (viz Věstník dopravy MD ČR č. 11/2013 v přepočtu na rok 2019:

- externí náklady individuální automobilové osobní dopravy: 3,91 Kč/os km,
- externí náklady železniční osobní dopravy: 0,87 Kč/os km,



e) rozvoj multimodality

dílčí cíl: změnit konkurenční a paralelní působení různých dopravních módů v kooperační a komplementární,

nástroj: budování přestupních terminálů jak mezi jednotlivými druhy veřejné hromadné dopravy, tak i mezi veřejnou a individuální dopravou (historicky zpočátku ještě privátně vlastněnými dopravními prostředky, do budoucna zejména sdílenými prostředky – vznik segmentu veřejné individuální dopravy, zajišťované autonomními automobily).

Doprava věcí

a) železniční dopravní cesta

dílčí cíl: zvýšení dopravní kapacity nejvíce zatížených tratí, zapojení dalších tratí do systému nákladní dopravy,

nástroj: odlehčení konvenčních tratí od rychlé osobní dopravy vybudováním sítě vysokorychlostních železnic, vybudování druhých traťových kolejí a elektrizace tratí ve směrech silných nákladních přepravních proudů

b) železniční vozidla

dílčí cíl: zvýšení rychlosti a dochvilnosti nákladní dopravy, růst efektivity,

nástroj: orientace na vysoce výkonné interoperabilní lokomotivy, schopné vozit těžké nákladní vlaky v souběhu s vlaky osobní přepravy a to jak v ČR, tak i v zahraničí

c) železniční doprava v závazku veřejné služby

dílčí cíl: vnímat prospěšnost železniční dopravy nejen z pohledu dopravní obsluhy regionu v oblasti přepravy osob, ale z pohledu nákladní dopravy a to jak místní, tak i tranzitní,

nástroj: společenská podpora energeticky a environmentálně výhodné dopravy,

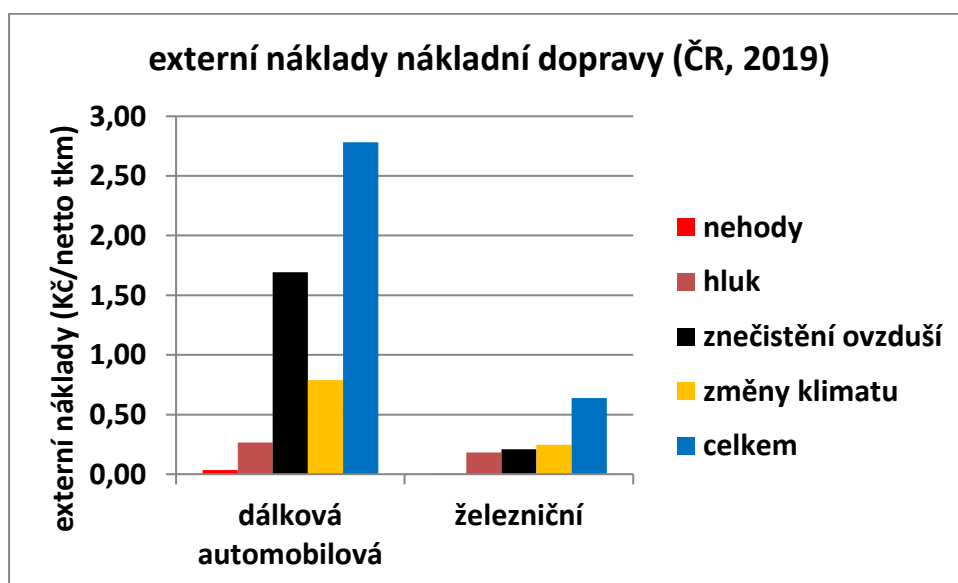
d) tarifní politika

dílčí cíl: harmonizace podmínek v oblasti poplatků za použití dopravní cesty a za energie

nástroj: v první řadě bezodkladně odstranit nežádoucí dopady regulačních opatření na trhu s energiemi, které paradoxně deformují trh dopravy směrem k podpoře energeticky více náročných druhů dopravy:

- cena elektrické energie pro trakci je zatížena příspěvkem na obnovitelné zdroje v částce 0,50 Kč/kWh, zatím co v ceně nafty s energetickým obsahem 10 kWh/litr tomu odpovídající příspěvek na podporu obnovitelných zdrojů 5 Kč/litr obsažen není,
- cena elektrické energie je zatížena povinností elektráren spalujících fosilní paliva nakupovat emisní povolenky CO₂ (aktuálně u uhelných elektráren v úrovni cca 0,60 Kč/kWh), zatím co fosilní paliva pro spalovací motory pozemních dopravních prostředků (motorová nafta, automobilový benzín) nespádají do oblasti emisní povolenky CO₂.

Podobně jako v případě dopravy osob je při dopravě věcí vnímat významný pokles externích nákladů, spojený s přechodem na energeticky úspornější druh dopravy.



e) rozvoj multimodality

dílčí cíl: změnit konkurenční a paralelní působení různých dopravních módů v kooperační a komplementární,

nástroj: podporou budování multimodálních terminálů přispět k rozvoji kombinované přepravy.

ad (iii) Zvyšování energetické účinnosti jednotlivých druhů dopravy (intramodální úspory)

Úspory energie jsou zdrojem energie. A to zdrojem bezemisním, neboť úsporami vzniklá energie není provázána spalováním paliv, tedy ani lokálními ani globálními exhalacemi. Proto je na místě hodnotit efektivnost investic do úspor energie podobně jako investice do zdrojů energie a to na základě analýzy nákladů a výnosů CBA). Tedy posuzovat, jakou energii investic do úspor vyprodukuje za dobu technické životnosti. Ta u dopravních prostředků závisí na dvojici faktorů:

- doba technické životnosti (pohybuje se v rozsahu 8 let až 40 let),
- denní doba používání (pohybuje se od 0,5 hodiny po 20 hodin).

Tedy doba aktivního působení investic do energeticky úsporných technologií se u dopravních prostředků se pohybuje ve velmi širokém rozmezí (1 500 h u osobních automobilů až 300 000 h u nákladních lokomotiv, tedy 1 : 200). Tato skutečnost má zcela zásadní vliv na ekonomickou efektivnost aplikace technických inovací s cílem snížení spotřeby energie. Rentabilita investic do dekarbonizace veřejné hromadné dopravy je díky vyšším denním proběhům vozidel řízených celý den řidiči profesionály (neboť řízení vozidla je jejich pracovní náplní a střídají se) mnohonásobně vyšší, než rentabilita investic do dekarbonizace individuální dopravy, pro kterou jsou charakteristické s malým denním proběhem vozidel, řízených jen velmi malou část dne řidiči amatéry (neboť řízení vozidla není jejich pracovní náplní, tu věnují jiným aktivitám).

Aktuálním nástrojem k intramodálním úsporám konečné spotřeby energie v dopravě je náhrada spalovacího motoru (směrná hodnota účinnosti 30 %) elektrickým trakčním pohonem (směrná hodnota účinnosti 75 %). V důsledku 2,5 násobně vyšší účinnosti klesá při náhradě spalovacího motoru elektrickým konečná spotřeba energie na 40 %, dochází tedy k úspoře 60 % konečné spotřeby energie.

Tato základní úspora je dále navyšována o úsporu rekuperací brzdové energie, která se pohybuje v závislosti na charakteru jízdy od 10 % (spíš plynulá jízda) do 40 % (málo plynulá jízda s četnými zastávkami).

Vlastní trakční elektromotor má vysokou účinnost (kolem 95 %), výše uvedená směrná hodnota střední účinnosti trakčního pohonu 75 % zahrnuje kromě trakčního motoru i mechanické převody, polovodičové měniče, pomocná zařízení a přenos elektrické energie mezi distribuční elektrickou sítí a vozidlem.

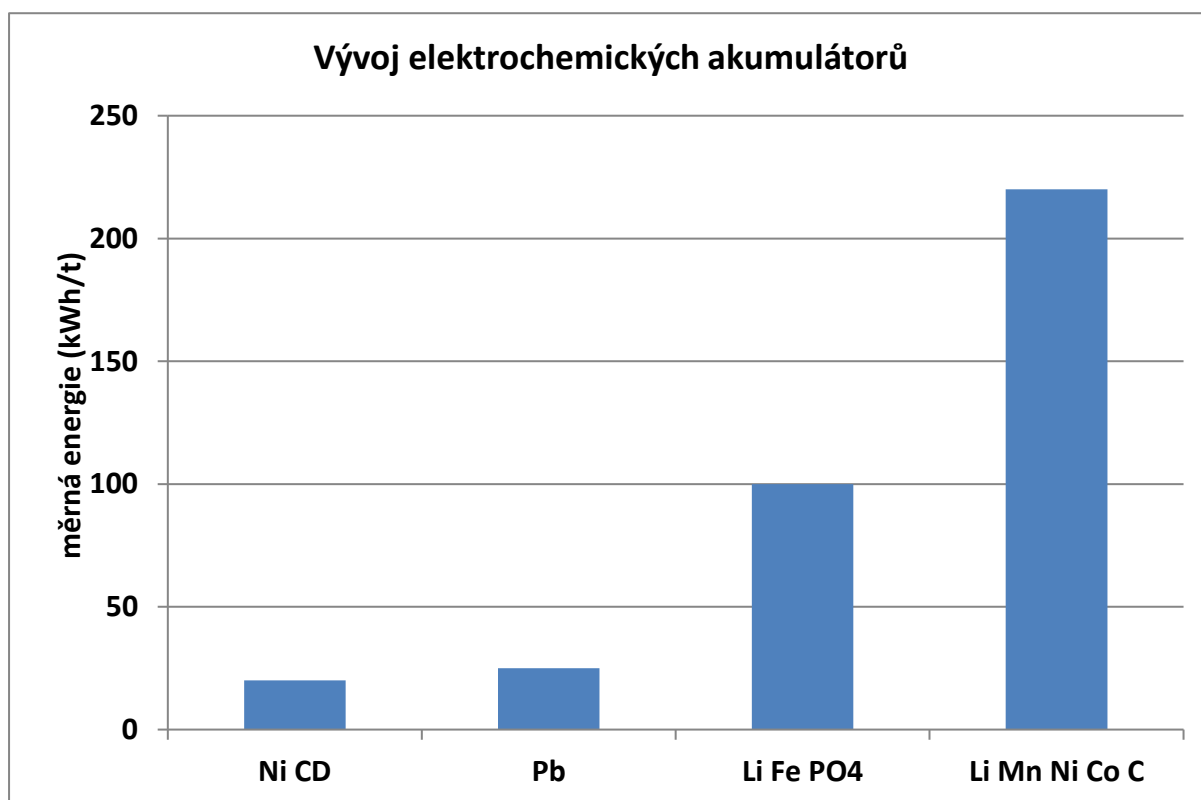
Rozvoj elektrické vozby

Přenos elektrické energie mezi distribuční elektrickou sítí a vozidlem má více podob. V zásadě je nutno rozlišovat:

- závislou elektrickou vozbu (vozidlo nemá ani zdroj ani zásobník elektrické energie, vyžaduje liniové elektrické napájení – pevná trakční zařízení),
- polozávislou elektrickou vozbu (vozidlo má zásobník energie, k provozu potřebuje stacionární nabíjecí zařízení),
- nezávislou elektrickou vozbu (vozidlo má zdroj energie se zásobou paliva – v minulosti spalovací motor s generátorem, v současnosti palivový článek se zásobou paliva).

Tyto systémy lze kombinovat a tím vytvářet vícezdrojová vozidla. Nabíjení lze praktikovat jak statické (za stání), tak i dynamické (v průběhu jízdy).

Rozvoj polozávislé elektrické vozby, který nastal v posledních létech, přímo souvisí s pokrokem v oblasti elektrochemických akumulátorů, zejména lithiových. V průběhu 20. století byly používány jen alkalické akumulátory s měrnou energií kolem 20 kWh/t a olověné akumulátory s měrnou energií kolem 25 kWh/t, údržbově náročné, s nízkou účinností a s krátkou životností. Aktuálně jsou k dispozici lithiové akumulátory s měrnou energií 100 až 200 kWh/t, údržbově nenáročné, s vysokou účinností a s dlouhou životností. Technologický pokrok směřuje ke stále vyšším hodnotám měrné energie akumulátorů.

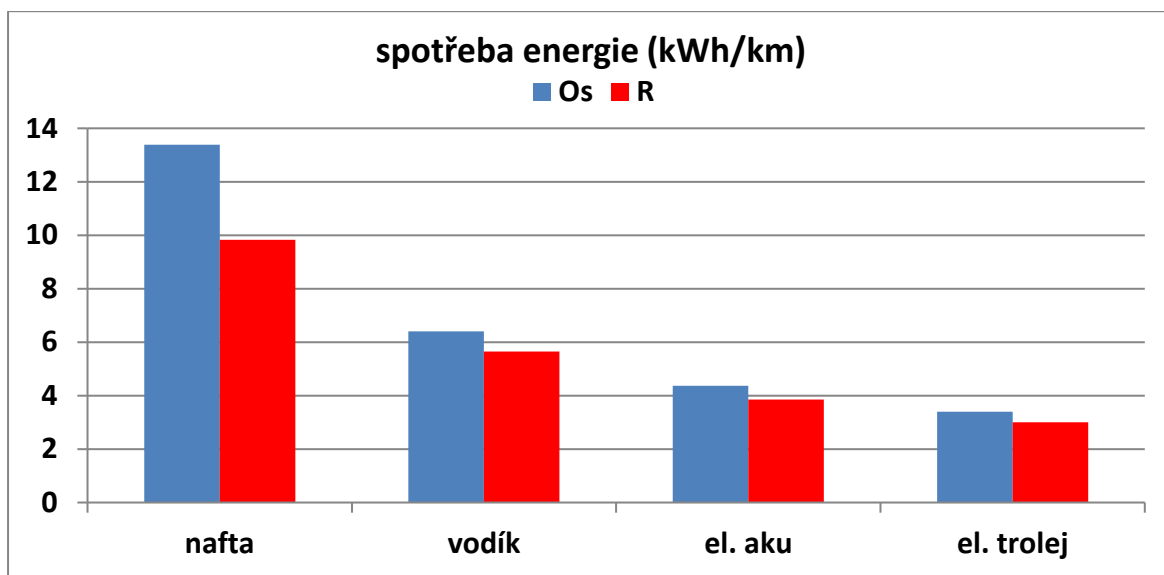


Při snaze snížit konečnou spotřebu energie v dopravě je podstatné vnímat rozdílnou účinnost různých druhů metrické vozby:

- závislá DC elektrická vozba: stejnosměrná trakční napájecí stanice, trakční vedení, vstupní filtr vozidla – výsledná účinnost přenosu elektrické energie cca 80 %,
- závislá AC elektrická vozba: střídavá trakční napájecí stanice, trakční vedení, transformátor vozidla a vstupní měnič vozidla – výsledná účinnost přenosu elektrické energie cca 95 %,

- polozávislá elektrická vozba: nabíjecí měnič (účinnost cca 90 %) a akumulátor (účinnost cca 90 %) - výsledná účinnost přenosu elektrické energie cca 80 %,
- nezávislá vodíková elektrická vozba: elektrolyzátor (účinnost cca 60 %) a vodíkový palivový článek (účinnost cca 65 %) - výsledná účinnost přenosu elektrické energie cca 40 % (vlivem spotřeby energie na stačování vodíku na vysoký tlak a spotřeby energie na dopravu stlačeného vodíku v těžkých nádobách může výsledná účinnost přenosu elektrické energie dále poklesnout až k hodnotě 30 %).

Na následujícím grafu je uveden příklad porovnání energetické náročnosti různých způsobů elektrické vozby na železnici a jejich srovnání s naftovou vozbou.



Z porovnání energetické náročnosti různých způsobů elektrické vozby pak plynou oblasti racionálních aplikací jednotlivých forem elektrické vozby v pozemní dopravě:

- oblasti silných a pravidelných přepravních proudů: liniové elektrické napájení,
- oblasti slabších a méně pravidelných přepravních proudů, kratší přepravní vzdálenosti: použití zásobníků elektrické energie na bázi lithiových akumulátorů (aktuální stav techniky: cca 100 až 200 kWh/t),
- oblasti slabších a méně pravidelných přepravních proudů delší přepravní vzdálenosti: použití zásobníků elektrické energie na bázi vodíku a palivových článků (ocelové nádoby: cca 400 kWh/t, kompozitové nádoby: cca 900 kWh/t).

Přitom liniové a akumulátorové napájení lze s výhodou navzájem kombinovat. Pevná trakční zařízení (trakční vedení a trakční napájecí stanice) mohou sloužit nejen pro napájení vozidel provozovaných výhradně jen na liniově elektrizovaných trasách, ale i nabíjení akumulátorů vozidel se zásobníky energie a to jak za jízdy, tak i v klidu (viz parciální trolejbusy a železniční dvouzdrojová vozidla trolej/akumulátor).

Lithiové akumulátory

Existuje mnoho typů lithiových akumulátorů, které se navzájem odlišují svými parametry:

- měrná energie (kWh/t),
- měrný výkon (kW/t),
- životnost (počet cyklů do poklesu jmenovité kapacity o 20 %),
- měrná cena (Kč/kWh).

Podíl měrné energie a měrného výkonu udává nejkratší doby vybíjení či nabíjení (h),

Podíl měrné ceny a životnosti určuje cenu za uskladnění jednotkového množství energie (Kč/kWh/cykl).

Pro aplikace v oboru spotřebního zboží, pro které je typická krátká doba denního použití, (a tedy i pro aplikace u elektrických osobních automobilů) je kladen důraz zejména na vysokou měrnou energii akumulátoru (kWh/t) – aby byl dojezd dlouhý a akumulátor lehký. Zároveň též je požadováno, aby byla nízká měrná cena akumulátoru (Kč/kWh), aby akumulátor příliš nezvyšoval nákupní cenu vozidla. Tyto požadavky splňují například akumulátory lithium nikl mangan kobalt (NMC) či lithium nikl kobalt hliník (NCA) používané pro osobní automobily (měrná energie kolem 200 kWh/t, životnost kolem 2 000 cyklů).

Pro aplikace v oboru investiční techniky, pro které je typická dlouhá doba denního použití, (a tedy i pro aplikace ve veřejné hromadné dopravě) je kladen důraz zejména na vysoký měrný výkon akumulátoru (kW/t) – aby bylo možno i několikrát denně akumulátor rychle nabít a vybit. Zároveň též je požadováno, aby byla nízká měrná cena za uskladnění jednotkového množství energie (Kč/kWh/cykl), která má významný vliv na náklady životního cyklu (LCC). Tyto požadavky splňují například akumulátory lithium titanát oxid (LTO) používané pro dvouzdrojová vozidla trolej/akumulátor, kombinující liniové a akumulátorové napájení (měrná energie kolem 100 kWh/t, životnost kolem 20 000 cyklů). Tyto akumulátory se též hodí pro vyrovnávací zásobníky energie u hybridních vozidel (spalovací motor s generátorem plus akumulátor) a u vodíkových vozidel (palivový článek plus akumulátor).

Vodík

Výhodou vodíku je jeho vysoký energetický obsah (spalné teplo) a to 33 kWh/kg. Avšak vodík je velmi lehký (měrná hmotnost 0,09 kg/m³, tedy 1 kg vodíku má objem 11 m³, což bylo v minulosti důvodem k použití vodíku ve vzducholodích. Před použitím v dopravních prostředcích je nutno vodík stlačit obvyklá hodnota je přetlak 350 bar. Při tomto tlaku má 1 kg vodíku objem 32 litrů. Avšak příslušná ocelová tlaková nádoba má hmotnost cca 50 kg (tedy netto 1 kg, brutto 51 kg), což snižuje měrnou energii zásob vodíku z 33 000 kWh/netto t na 650 kWh/brutto t. Při použití palivového článku s účinností 65 % klesá výsledná měrná energie zásob vodíku na hodnotu 420 kWh_e/brutto t. To již je oblast, ke které se blíží nově vyvíjené lithiové akumulátory (lithium síra: 400 kWh/t).

Stojí za povšimnutí, že metan má sice nižší energetický obsah (spalné teplo) než vodík, a to 15 kWh/kg, avšak díky své vyšší měrné hmotnosti 0,7 kg/m³ má 1 kg metanu objem jen 1,4 m³. Bývá proto v mobilních aplikacích stlačován na přetlak 200 bar. Při tomto tlaku má stlačený metan objem jen 7 litrů a k tomu potřebná nádoba má hmotnost jen 6 kg (tedy netto 1 kg, brutto 7 kg). Stlačení tedy snižuje měrnou energii zásob metanu z 15 000 kWh/netto t na 2 000 kWh/brutto t. Zásoby

stlačeného metanu jsou (při uvažování hmotnosti nádob) pro stejnou energii paliva třikrát lehčí, než zásoby stlačeného vodíku.

Proto směřuje vývoj k lehčím kompozitovým zásobníkům vodíku. Není to snadné, malá molekula vodíku snadno uniká i drobnými netěsnostmi či póry. Kompozitová tlaková nádoba o jmenovitém pracovním přetlaku 350 bar na uchování 1 kg vodíku o objemu 32 litrů má hmotnost cca 50 kg (tedy netto 1 kg, brutto 21 kg), což snižuje měrnou energii zásob vodíku z 33 000 kWh/netto t na 1 570 kWh/brutto t. Při použití palivového článku s účinností 65 % klesá výsledná měrná energie zásob vodíku na hodnotu 1 020 kWh_e/t.

Jak stačování vodíku na vysoký skladovací tlak, tak i doprava vodíku (kamion, který veze 250 kg vodík, má hmotnost 40 t) jsou velmi energeticky náročné.

Proto je trendem výroba vodíku v místě provozu (plnění) dopravních prostředků. A to buď elektrolýzou s použitím přebytké elektrické energie z obnovitelných zdrojů (větrné či solární parky), nebo parním reformingem z metanu, odloučeného membránovými čističi z bioplynu. To jsou zároveň perspektivní způsoby výroby vodíku, nezávislé na aplikaci fosilních paliv, ze kterých je vodík zpravidla vyráběn v současnosti.

Trendem je i skladování vodíku při nižším tlaku (s nižší spotřebou energie na stlačování) vázaného v metalhydridových sloučeninách (typicky u ponorek).

Naopak zkapaňování vodíku není pro svou vysokou energetickou náročnost pro mobilní aplikace výhodné. Problematické je i pro dálkovou dopravu vodíku – racionálnější je transportovat po vedení elektřinu či plynovodem metan a na vodák je měnit až v místě aplikace.

Úplný odklon od používání spalovacích motorů

Základní orientace dopravy na náhradu spalovacích motorů elektrickou vozbu je motivována více faktory:

- zásadním zvýšením energetické účinnosti (přibližně v relaci 30 % versus 75 %), které vyplývá z odklonu od použití spalovacích motorů. Nízká účinnost spalovacích motorů je fyzikálně limitována principem tepelného (Carnotova) cyklu a nelze ji významně zvýšit. Na rozdíl od stacionárních aplikací není v mobilních aplikacích příležitost k využití ztrátového tepla, ve které se mění kolem 70 % energie paliva. V dopravních prostředcích se tak v ČR nevyužitím ztrátového tepla z celkové spotřeby energie uhlovodíkových paliv 312 PJ/rok zhruba ztrácí 70 %, tedy 218 PJ/rok. Ztráty v elektrických trakčních pohonech jsou vlivem jejich výrazně vyšší účinnosti podstatně nižší,
- dopravní prostředky se spalovacími motory nevyužívají princip rekuperačního brzdění a kinetickou i potenciální energii mění při brzdění v teplo, zatím co elektrické trakční pohony ji umí díky rekuperačnímu brzdění opětovně využít. Rekuperace brzdové energie přináší snížení spotřeby energie o 10 až 40 %,
- uhlovodíková paliva pro dopravu jsou v ČR tvořena z 94 % fosilními palivy s vysokou uhlíkovou stopou (kolem 0,26 kg CO₂/kWh). Elektrickou energii lze vyrábět z obnovitelných zdrojů a

vývoj ve struktuře elektrárrenství k tomu postupně směřuje. To znamená s nulovou uhlíkovou stopou,

- provoz spalovacích motorů je provázen emisemi výfukových plynů, které obsahují jedovaté látky (zejména oxidy dusíku, jemné prachové částice a polyaromatické uhlovodíky), které vážně poškozují lidské zdraví. Ve srovnání s tím není provoz elektrických vozidel provázen žádnými emisemi.

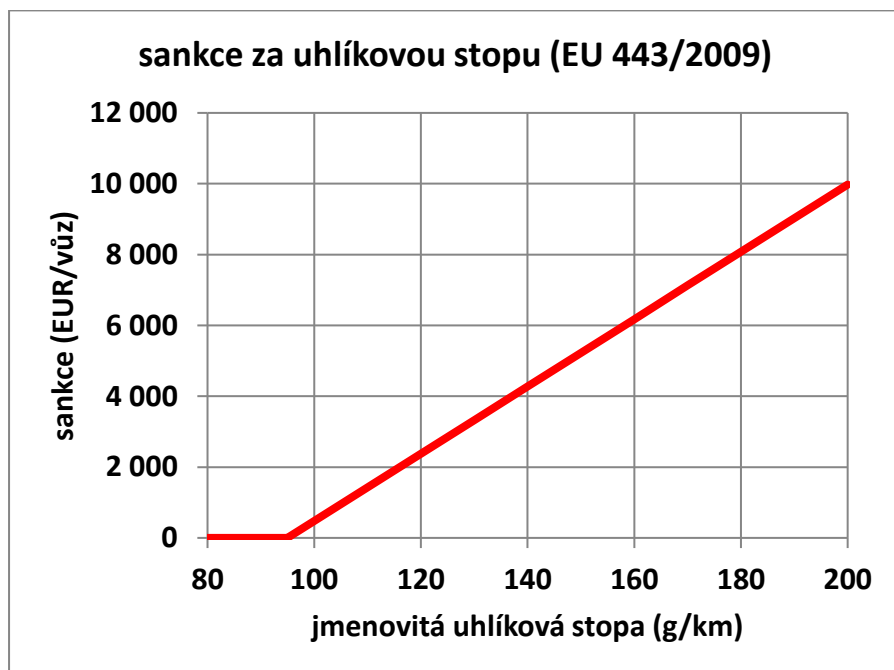
Elektrické automobily

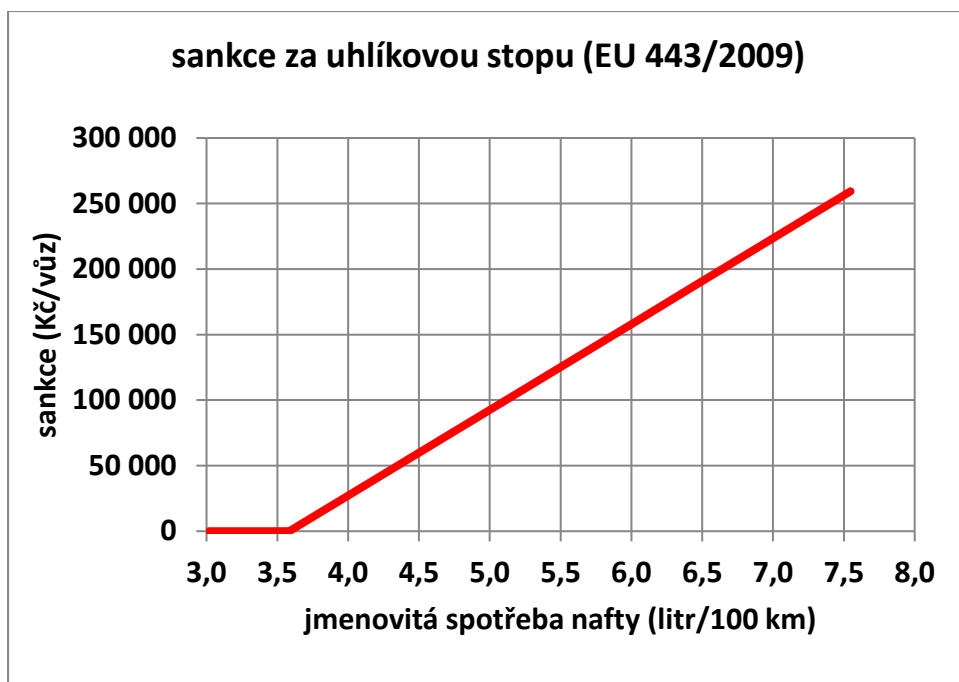
Stav techniky, zejména vývoj střídavých elektronicky frekvenčně řízených trakčních pohonů a lithiových akumulátorů, již umožňuje náhradu spalovacích motorů akumulátory i osobních automobilů.

K rozvoji výroby elektrických osobních automobilů velmi pozitivně přispěla restrikce emisí oxidu uhličitého osobních automobilů podle Nařízení Evropského parlamentu a rady č. 443/2009. Ta s poměrně velkým předstihem stanovila emisní cíl pro rok 2020 a to uhlíkovou stopu 95 g CO₂/km. To znamená orientace na vozidla s nízkou spotřebou paliva, neboť produkce oxidu uhličitého je přímo úměrná množení spáleného uhlovodíkového paliva:

- ropná motorová nafta: 2,65 kg CO₂/litr,
- ropný automobilový benzín: 2,46 kg CO₂/litr,
- zemní plyn: 1,95 kg CO₂/m³.

Při pohonu automobilů naftou (měrná produkce oxidu uhličitého 2,65 kg CO₂/litr) je nutno pro splnění tohoto limitu nepřekročit spotřebu paliva 3,6 litr/100 km. Automobily s tak nízkou spotřebou by sice bylo vyrobit, avšak byly by obtížně prodejné, lidé preferují těžší a výkonnější vozy se spotřebou kolem 4,5 litrů nafty na 100 km, tedy s uhlíkovou stopou 120 g CO₂/km.





Sankce za dobře prodejné automobily uhlíkovou stopu 120 g CO₂/km (2 375 EUR/vůz, tedy 61 750 Kč/vůz) přesahují zisk (EBIT) výrobce. Prosté pokračování ve výrobě těchto vozidel by bylo pro výrobce automobilů likvidační. Limity proto splnit musí, jinak se platbě sankčních poplatků nevyhnou.

Reálnou cestou ke splnění limitu 95 g CO₂/km, posuzovaného v součtu za celou roční produkci vozidel, je doplnění výroby automobilů se spalovacími motory s uhlíkovou stopu 120 g CO₂/km zhruba 20 % elektrických automobilů s uhlíkovou stopu 0 g CO₂/km. Tedy jde o řešení jednoduché rovnice:

$$0,79 \text{ g CO}_2/\text{km} + 0,21 \cdot 0 \text{ g CO}_2/\text{km} = 95 \text{ g CO}_2/\text{km}$$

S cílem vyhnout se platbě těchto sankcí se proto výrobci automobilů raději rozhodli (pokud chtějí ve výrobě automobilů pokračovat i po roce 2020) omezit výrobu automobilů se spalovacími motory na 80 % současné produkce a zbývajících 20 % automobilů vyrábět v elektrické podobě.

Investice společnosti VW ve výši 52 miliard EUR do doplnění výrobní základny v Mladé Boleslavi o produkci akumulátorů a trakčních motorů jsou typickým příkladem odezvy automobilového průmyslu na Nařízení Evropského parlamentu a rady č. 443/2009.

Po roce 2020 bude tedy v ČR ročně vyráběno přes 200 000 osobních elektrických automobilů. Jakkoliv má automobilový průmysl v ČR převážně exportní roli (velká většina vyráběných vozidel je vyvážena do zahraničí) je v zájmu ČR, aby co nejvíce vyrobených elektrických automobilů zůstalo v ČR a byly zde provozovány. Tím přispějí k útlumu provozu automobilů se spalovacími motory a tedy i k plnění cílů ČR v oblasti energetiky, klimatu, životního prostředí a ochrany zdraví. Je proto rozumné zjistit zázemí pro nabíjení elektrických automobilů.

Nabíjení elektrických automobilů

K porozumění tématu nabíjení elektromobilů je potřebné uvědomit si, že automobil je většinou občanů v ČR využíván především na krátkém každodenní cestě. Delší cesty automobilem podniká většina obyvatelstva ČR jen několikrát ročně:

- střední roční proběh osobního automobilu v ČR je 10 300 km, tedy zhruba 28 km denně. Tomu při gradientu spotřeby elektrické energie 0,22 kWh/km odpovídá střední denní spotřeba cca 6 kWh elektrické energie. Tuto energii dodá zaparkovanému automobilu běžná jednofázová zásuvka 230 V 16 A (výkon 3,7 kWh) za necelé dvě hodiny, tedy za 7 % z průměrné denní doby parkování, která v ČR činí 23 hodin a 36 minut,
- běžný osobní automobil je v ČR využíván na dálkové jízdy jen několikrát ročně (viz střední roční proběh 10 500 km). Zhruba 95 % přepravních výkonů osobní automobilové dopravy představují v ČR jízdy na vzdálenost do 120 km. K nabití elektrického automobilu tomu odpovídající energií 24 kWh stačí nabíjení z běžné jednofázové zásuvky 230 V 16 A (výkonem 3,7 kWh) za 6,5 hodiny v období levné noční elektrické energie.

Navzdory nadšení laiků (včetně politiků a novinářů) a distributorů elektrické energie pro vysoce výkonné rychlonabíjecí stanice mají tato zařízení v zajištění zázemí pro hromadný provoz elektromobilů zcela nepodstatnou roli. Pro velmi potřebnou a naléhavě aktuální širokou náhradu automobilů se spalovacími motory elektrickými automobily má dominantní význam zajištění levného pomalého nabíjení v průběhu parkování pro všechna místa určená k parkování. Tak, jak je to v průběhu letošního roku v počtu tisíců ukázkově budováno v Mladé Boleslavi:

- cena elektřiny je dána nejen množstvím odebrané energie (kWh), ale i velikostí odebíraného výkonu (kW). Rychlé nabíjení vysokým výkonem je pro uživatele automobilu významně dražší, než pomalé nabíjení nízkým výkonem. Proto rozumní uživatelé elektrických automobilů preferují pomalé nabíjení během parkování,
- cena elektřiny je též dána denní dobou odběru. Možnost odložit nabíjení v průběhu parkování na noční dobu vede k dalšímu podstatnému snížení ceny elektrické energie,
- z hlediska namáhání a životnosti akumulátoru je rychlé nabíjení vysokým výkonem méně příznivé, než pomalé nabíjení nízkým výkonem,
- pro uživatele automobilu znamená rychlé nabíjení vysokým výkonem ve veřejné nabíjecí stanici větší ztrátu jeho produktivního času, než pomalé nabíjení nízkým výkonem v průběhu parkování automobilu bez přítomnosti jeho uživatele,
- jízda automobilů k vysoce výkonné veřejné nabíjecí stanici a zpět představuje zbytečnou cestu navíc s negativním dopadem na zatížení komunikací i spotřebu energie,
- budování vysoce výkonných veřejných nabíjecích stanic vyžaduje zásadní posílení elektrické distribuční sítě. V kontrastu s tím lze při budování systému nabíjecích míst pro pomalé noční nabíjení zaparkovaných vozidel vystačit s existujícím výkonem distribuční sítě. Při chytrém řízení nabíjení lze i na velkých sídlištích vystačit s dosavadním výkonem distribučních sítí určených pro napájení bytů (výkon pro nabíjení automobilu je využíván v době, kdy jej domácnosti nepotřebují, zejména v noci,
- snaha přizpůsobit režim nabíjení automobilu aktuálním možnostem elektrizační soustavy (jako protipól snahy přizpůsobit výkonnost elektrizační soustavy cíli nabít automobil právě teď a rychle) je bonusem nejen pro uživatele automobilu (levné nabití, šetrné k automobilu a

neblokující produktivní čas uživatele automobilu), ale i pro elektrizační soustavu. Aktivním řízením spotřeby nabíjených automobilů ze strany energetiky lze v reálném čase operativně vyrovnávat okamžitou bilanci výkonu zdrojů a spotřebičů. Tato možnost bude při rostoucím podílu nepredikovatelně fungujících obnovitelných zdrojů stále potřebnější,

- výstavba vysoce výkonných veřejných nabíjecích stanic je nákladnou investicí. Naproti tomu vybavení všech parkovacích stání jednofázovými elektrickými zásuvkami 230 V /16 A, které jsou pro pomalé noční nabíjení postačující, je násobně levnější, než cena pozemku, na kterém automobily parkují,
- zkušenost ze zemí s rozvinutým požíváním elektromobilů potvrzuje, že zhruba 95 % energie pro nabíjení automobilů je dodáváno pomalým nabíjením v průběhu parkování. Rychlé vysoce výkonné nabíjecí stanice jsou jako doplněk pomalého nabíjení pochopitelně potřebné též,
- všeobecným trendem je náhrady jízd automobilem na velké vzdálenosti 3 x rychlejší a 8 x energeticky méně náročnou vysokorychlostní železnici.

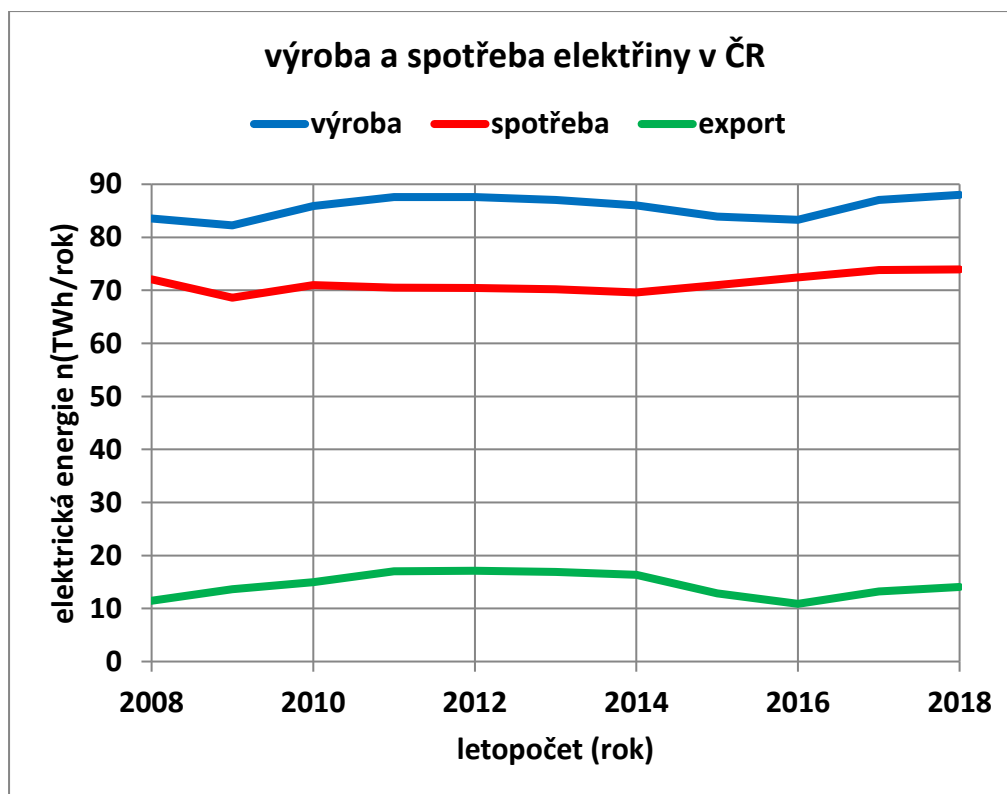
Elektrická energie pro elektrické automobily

V ČR bylo v roce 2017 registrováno 5,5 milionu osobních automobilů, které vykonaly přepravní práci 74 miliard os km/rok a spotřebovaly k tomu pro spalovací motory cca 135 PJ/rok (37,5 mld. kWh/rok) energie uhlovodíkových paliv. Při středním obsazení 1,3 osobami vykonaly dopravní práci 57 mld. voz. km/rok.

Při 100 % náhradě všech automobilů se spalovacími motory elektrickými automobily se spotřebou elektrické energie z distribuční sítě 0,22 kWh/km vyžaduje 12, 7 mld. kWh elektrické energie.

Při současné struktuře výroby elektrické energie je spotřeba elektrické energie pro osobní automobily 12, 7 mld. kWh/rok zajistitelná poklesem exportu elektrické energie. V roce 2018 bylo elektrárnami v ČR vyrobeno 88,0 miliard kWh elektrické energie, při tuzemské spotřebě 73,9 miliard kWh elektrické energie byl přebytek 14,1 miliard kWh exportován. V posledních 11 letech (2008 až 2018) exportovala ČR ročně v průměru přebytek 14,4 TWh elektrické energie (diference vývozu a dovozu).

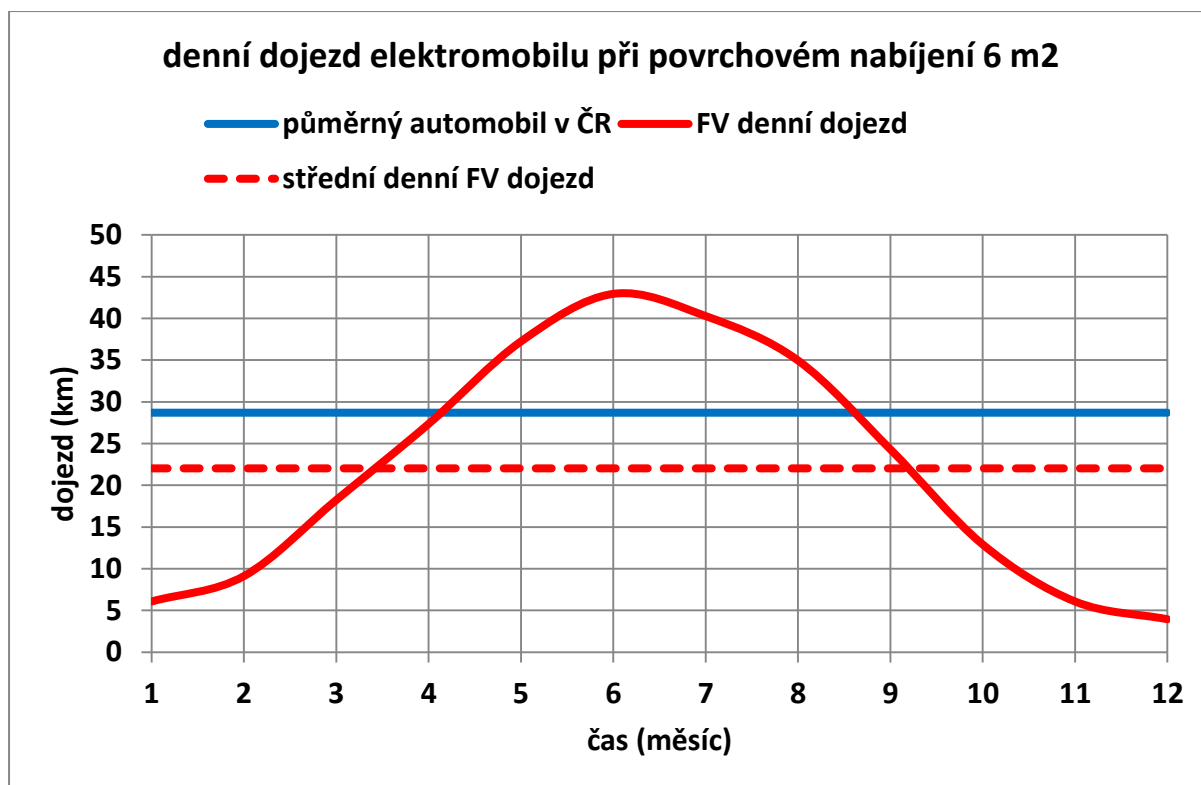
Pro srovnání je též dobré si uvědomit, že jedna jaderná elektrárna o výkonu 2 x 1 000 MW (Temelín, Dukovany) je při 90 % využití schopna ročně vyrobit 15,8 TWh elektrické energie.



Spotřebu elektrické energie pro osobní automobily 12, 7 mld. kWh/rok lze též pokrýt například fotovoltaickými elektrárnami vybudovanými na ploše 9 600 h (čtverec o hraně 9,8 km), což reprezentuje pouhá 2,4 % plochy polí, na kterých je v současnosti v ČR pěstována řepka. Pochopitelně za předpokladu vyrovnání proběhu výroby a spotřeby zásobníky energie.

Technika perovskitových (oxid titaničito-vápenatý) fotovoltaických článků, které lze tisknout i na karosérie automobilu umožňuje nabíjet automobil jeho parkováním na osluněném místě.

Díky vyrovnávací funkci vozidlového akumulátoru lze energii pro střední denní proběh osobního automobilu (v ČR v roce 2017: 28 km/den) zajistit u vozů s fotovoltaickou karosérií od dubna do září pouhým parkováním na slunci bez potřeby dobíjení z vnějšího zdroje.



Výše uvedený text se týká pouze osobních automobilů. Při 100 % převodu veškeré dopravy v ČR z uhlovodíkových paliv na elektrickou vozbu bude potřeba pro dopravu zajistit elektrickou energii v rozmezí 83 PJ/rok (při převodu 60 % silniční dopravy na železnici) až 100 PJ/rok (při převodu 40 % silniční dopravy na železnici), tedy 23 až 28 miliard kWh/rok. Tuto elektrickou energii lze například vyrobit ve fotovoltaických elektrárnách na ploše území 16 000 ha až 28 000 ha v libovolné (i méněcenné) lokalitě.

Nákladní automobily

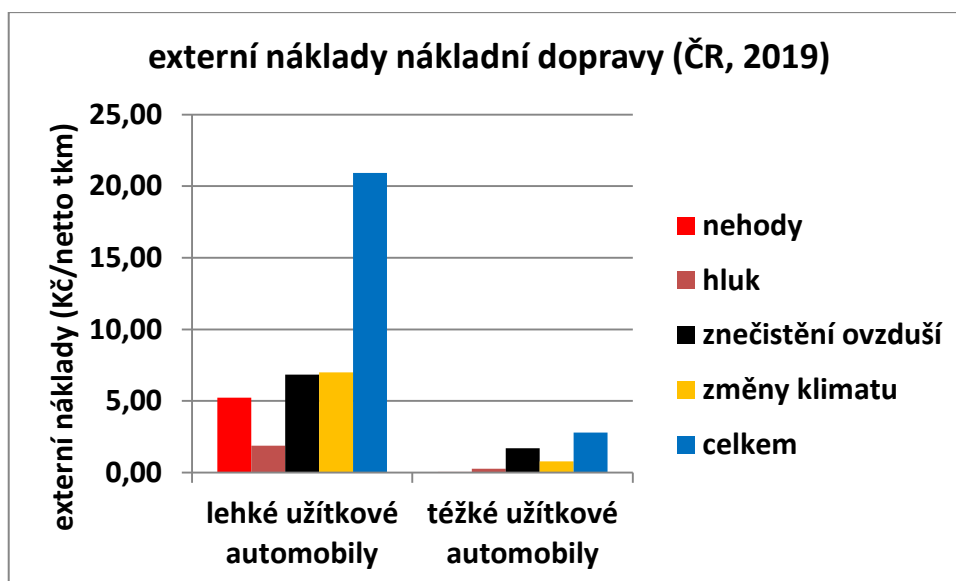
Lze předpokládat, že reakce výrobců nákladních automobilů na nově v EU přijaté limity uhlíkové stopy (g CO₂/km) bude podobná, jako v případě osobních automobilů. Nedojde k technicky obtížnému podstatnému snížení paliva a tím i emisí velkých nákladních automobilů se spalovacími motory používaných v dálkové dopravě. Výsledná uhlíková stopa flotily vyráběných automobilů bude snížena doplněním výroby těžkých nákladních automobilů se spalovacími motory (dále produkovanými bez podstatných technických inovací motivovanými snížením spotřeby paliva a exhalací) výrobou určitého množství vozidel s nulovou uhlíkovou stopou, tedy elektrických automobilů.

Z ekonomických důvodů bude zpočátku tento trend alokován zejména v oblasti, kde je snadno technicky dosažitelný, tedy v oblasti lehkých rozvázkových automobilů, technicky blízkých osobním automobilům, pro které jsou již na trhu dodavatelského průmyslu k dispozici komponenty elektrického trakčního pohonu (akumulátory, polovodičové měniče, trakční motory).

Na první pohled může doplnění výroby těžkých nákladních automobilů se spalovacími motory, které budou i nadále produkovat oxid uhličitý i zdraví škodlivé zplodiny hoření, výrobou určitého množství

lehkých rozvážkových automobilů, působit jako obcházení cílů EU v oblasti energetiky a klimatu. Ale není tomu tak, jde o racionální postup:

- prioritní aplikace elektrického pohonu v oblasti lehkých nákladních vozidel, která je blízka v současnosti již technicky zvládnuté technice pohonu elektrických osobních automobilů, povede k cenové dostupnosti a brzké hromadné výrobě a prodejnosti lehkých nákladních elektrických vozidel,
- denní časový režim těchto automobilů, zpravidla vázaných na pracovní dobu jednoho řidiče, který navíc vykonává i profesi manipulanta, vede k denním proběhům jen několik desítek kilometrů, tedy vystačí s nevelkými a tedy nepříliš drahými akumulátory,
- denní časový režim těchto automobilů, zpravidla vázaných na pracovní dobu jednoho řidiče, vytváří velký časový prostor pro levné pomalé nabíjení nízkým výkonem (zejména v noci),
- poměr čisté hmotnosti přepravovaného zboží (netto t) ke hrubé hmotnosti naloženého vozidla (brutto t) je v rozvážkové službě řádově nižší, než v dílkové dopravě. Tedy na vykonání téže přepravní práce (netto tkm) je nutno v rozvážkové službě nutno vykonat mnohonásobně vyšší dopravní práci (brutto tkm) a spotřebovat k tomu více energie a vyprodukovat při tom více exhalací (navíc v silně obydleném území), než v dálkové dopravě. Tato skutečnost je zřejmá i z ohodnocení externalit podle Věstníku dopravy MD ČR č. 11/2013, který uvádí pro lehké nákladní automobily 7,5 krát vyšší měrné externí náklady, než pro těžké nákladní automobily (20,92 Kč/netto tkm versus 2,78 Kč/netto tkm).



Je proto rozumné podpořit snahy výrobců nákladních automobilů splnit nové emisní limity zavedením hromadné výroby lehkých rozvážkových elektrických automobilů. A to společným řešením infrastruktury pro jejich nabíjení spolu s naplňováním podobných cílů v oblasti hromadné i individuální osobní dopravy.

Alternativní paliva

Cestu k zásadnímu snížení spotřeby energie pro dopravu je úplný odklon od používání spalovacích motorů v mobilních prostředcích bez možnosti řádného využití ztrátového tepla. Zachování techniky

spalovacích motorů a pouhá náhrada ropných paliv (automobilový benzín, motorová nafta) pro spalovací motory jinými uhlovodíkovými palivy není cestou k úsporám energie.

Jak náhrada ropných paliv biopalivy, tak náhrada ropných paliv metanem (fosilním či biologickým) i náhrady ropných paliv vodíkem spalovaným ve spalovacích motorech nevedou ke snížení, ale naopak ke zvýšení konečné spotřeby energie. Příčinou této skutečnosti je fakt, že užití těchto paliv je spojeno s vyšší spotřebou energie, než užití ropných paliv.

Biologická paliva

Náhrada ropné motorové nafty metylesterem řepkového oleje, respektive náhrada ropného automobilového benzínu bioetanolom, je sice cestou ke snížení spotřeby fosilních paliv a tedy ke snížení produkce translačního oxidu uhličitého. Avšak náhrada ropných paliv pro spalovací motory dopravních prostředků biologickými palivy nezpůsobuje žádné snížení konečné spotřeby energie v dopravě. Spalovací motory je totiž využívají se stejně nízkou účinností, jako ropná paliva.

Podobně je tomu i u exhalací zdraví škodlivých látek. Tu biopaliva nesnižují.

Nelze však přehlédnout, že náhrada ropných paliv biopalivy zvyšuje konečnou spotřebu energie v ČR, neboť technologie výroby biopaliv je ve srovnání s rafinací ropných paliv energeticky náročnější. Zvyšováním podílu biopaliv v dopravě náhradou za ropná paliva tak roste konečná spotřeba energie v zemědělství a v průmyslu. V celkovém součtu všech oborů (v dopravě se touto substitucí spotřeba energie nesníží, ale v zemědělství a v průmyslu vzroste) způsobuje náhrada ropných paliv biopalivy růst konečné spotřeby energie v ČR.

Jedinou předností biopaliv je, že při spalování produkují nikoliv translační, ale cirkulační oxid uhličitý – vracejí do ovzduší CO_2 odebraný fotosyntézou při růstu rostlin, tedy nezvyšují obsah uhličitého v zemském obalu. Avšak míra použití biopaliv ve struktuře uhlovodíkových paliv pro dopravní prostředky je velmi omezená, aktuálně činí v ČR jen 6 %. Potenciál zvýšení podílu biopaliv je omezený, neboť účinnost přeměny energie slunce na energii biopaliv je velmi nízká. Z plochy 1 m^2 pole, na které dopadne za rok v ČR $1\,100 \text{ kWh}$ slunečního záření, lze i při intenzivním hnojení importovanými fosforečnými hnojivy a při chemickém ošetřování jedovatými látkami sklídit jen $0,32 \text{ kg}$ řepkového semene. Z něho lze vyrobit $0,125 \text{ kg}$ metylesteru řepkového oleje s výhřevností 12 kWh/kg . Tedy lze získat pouze $1,5 \text{ kWh}$ energie paliva z 1 m^2 pole za rok, což odpovídá účinnosti energetické přeměny energie slunečního záření na energii paliva cca $0,14 \%$. Po odečtení vlastní spotřeby výrobních technologií úrovní 30 % vychází čistá produkce $1,05 \text{ kWh}$ energie paliva z 1 m^2 pole za rok při účinnosti energetické přeměny energie slunečního záření na energii paliva cca $0,09 \%$. Použitím takto získaného paliva ve spalovacím motoru s účinností 30 % klesá výsledná účinnost energetické přeměny energie slunečního záření na mechanickou práci pohonu vozidla na pouhých $0,03 \%$. To je 600 krát méně, než účinnost nejlevnějších křemíkových fotovolatických článků, která činí 18 % a lze instalovat kdekoliv (i mimo kvalitní zemědělskou půdu) a nevyžadují ani lidskou práci, ani fosfátová hnojiva, ani toxické postřiky. Navíc při vhodné aplikaci pomáhají zadržovat vodu v krajině (stíněním snižují odpar a koncentrací srážkové vody zvyšují průsak do hloubky).

Z důvodu tak nízké účinnosti energetických přeměn je technologie metylesteru řepkového oleje silně náročná na plochu zemědělské půdy (ale také vody, hnojiv, chemických přípravků a lidské práce). Pro již zmíněný 6 % podíl biopaliv na celkové spotřebě uhlovodíkových paliv v dopravě v ČR (19 PJ/rok

z 312 PJ/rok) je po odečtení vlastní potřeby nutno pěstovat řepku olejnou na 500 000 ha osevní lochy, což je 17 % z ocelkové výměry orné půdy v ČR, která činí přibližně 3 miliony ha.

Pokud by měl metylester řepkového oleje nahradit veškerou výchozí spotřebu uhlovodíkových paliv v dopravě v ČR (312 PJ/rok) musela by být řepka olejná být pěstována na ploše 8,3 milionu ha, což je 2,8 násobek orné půdy v ČR. To není reálné.

Náhrady ropných paliv pro spalovací motory metanem

Metan má ve struktuře poněkud méně uhlíku (75 %), než ropná paliva (motorová nafta 87 %, automobilový benzín 85 %). Díky tomu má metan poněkud nižší měrnou uhlíkovou stopu (0,20 kg/CO₂ kWh výhřevnosti), než ropná uhlovodíková paliva. Vůči ropné motorové naftě (0,27 kg/CO₂ kWh výhřevnosti) jde o pokles o 25 %, auto vůči automobilovému benzínu (0,26 kg/CO₂ kWh výhřevnosti) jde o pokles o 23 %. Avšak tato skutečnost je znehodnocována působením čtyř dalších faktorů:

- vysoká teplota vznícení metanu vede k tomu, že metan nelze ve spalovacích motorech zapalovat kompresním teplem. Vznětový princip spalovacího motoru je proto nutno při substituci nafty plynem nahradit principem zážehovým. To je vlivem nižší rychlosti hoření a nižšího kompresního poměru provázáno snížením energetické účinnosti cca o 9 %, tedy růstem spotřeby energie o cca 9 %,
- nízká měrná hmotnost metanu (0,007 kg/litr proti 0,83 kg/litru nafty) vede k tomu, že metan je nutno při požití v dopravních prostředcích stlačovat na přetlak 200 bar, což zvyšuje spotřebu energie o cca 3 % a zvyšuje uhlíkovou stopu asi o 6 %,
- vysoká hmotnost tlakových nádob na stlačený plyn zvyšuje hmotnost vozidla a tím i spotřebu energie o další cca 4 %,
- směsná motorová nafta obsahuje přibližně 6 % biologické složky, zatím co zemní plyn je 100 % fosilní palivo.

Společným výsledkem těchto skutečností je, že při náhradě směsné motorové nafty zemním plynem dochází ke zvýšení konečné spotřeby energie o cca 16 %. Zvýšení spotřeby energie a absence bioložky prakticky anulují efekt poklesu uhlíkové stopy – výsledná produkce oxidu uhličitého je při použití motavé nafty a zemního plynu přibližně stejná.

Membránové čističe dávají možnost nahradit zemní plyn biometanem separovaným z bioplynu. Avšak biometan je výhodnější vtlačit do plynové sítě a využít jeho energii (nejen do úrovně výhřevnosti, ale v kondenzačních kotlích až do úrovně spalného tepla) třikrát efektivněji, než při jeho aplikaci v automobilu, kde je ztrátové teplo bez užitku promarněno.

V souvislosti s aplikací metanu ve vozidel je možno využívat nejen stlačený zemní plyn (LNG), ale i zkapalněný zemní plyn (LNG). Zkapalňování zemního plynu je však energeticky ještě více náročné, než jeho stlačování. Proto má praktický význam jenom tam, kde je ztráta energie vložená do zkapalňování metanu kompenzována úsporami energie při jeho přepravě. To nastává jedině v případě jeho zaoceánské přepravy na vzdálenosti kolem 10 000 km, nikoliv při jeho aplikaci v dopravních prostředcích s intervalem doplňování zásob v řádu stovek kilometrů. Aplikace LNG ve vozidlech vedla k dalšímu poklesu energetické účinnosti a tedy k dalšímu zvyšování konečné spotřeby energie.

Náhrady ropných paliv pro spalovací motory vodíkem

Existuje též možnost používat vodík jako palivo pro spalovací motory vozidel. Avšak je to škoda. V palivovém článku lze využít energii vodíku s účinností (vůči spalnému teplu) kolem 65 %, zatímco ve spalovacím motoru s účinností zhruba poloviční, tedy při dvojnásobné spotřebě energie a navíc bez možnosti rekuperovat brzdovou energii, což však vyrovnávací akumulátor palivového článku umožňuje.