

Synergické efekty při společném řešení dopravních a energetických projektů

Úřad vlády České republiky, 8.12.2016
Jiří Pohl, Siemens, s.r.o.

Bilance spotřeby fosilních paliv (Česká republika, 2015)

| | energie | uhlíková stopa |
|----------------|---------------|-------------------------------|
| palivo | kWh/obyv./den | kg CO ₂ /obyv./den |
| černé uhlí | 13 | 5 |
| hnědé uhlí | 36 | 13 |
| zemní plyn | 24 | 5 |
| ropné produkty | 28 | 7 |
| celkem | 102 | 30 |

Na jednoho občana ČR připadá spotřeba primární energie 134 kWh/den.

Z toho 76 % (102 kWh/den, tedy průběžně 4,2 kW) pokrývají fosilní paliva:

- fosilní paliva jsou příležitostí, která se opakuje jednou za 200 mil. let,
- spalování fosilních paliv vede k nárůstu koncentrace CO₂ v obalu země, což způsobuje nežádoucí klimatické změny,
- 2/3 energie fosilních paliv jsou zmařeny ve ztrátách spalovacích motorů a tepelných elektráren.

=> šťastné období blahobytu spotřeby fosilních paliv je potřebné využít k tomu, aby se lidstvo naučilo žít i bez nich (bez poklesu životní úrovně)

Uhlíková stopa

Realita procesu hoření (zákon zachování hmoty):

- **spálením jednoho litru nafty se dostává do ovzduší 2,65 kg CO₂**
- **spálením jednoho litru benzínu se dostává do ovzduší 2,46 kg CO₂**
- **spálením jednoho kg zemního plynu se dostává do ovzduší 2,79 kg CO₂**

Žádný filtr, přísada do paliva či jiná konstrukce motoru touto úměrou nezmění.

Jedinou cestou ke snížení antropogenní produkce CO₂ je spalovat méně fosilních paliv.

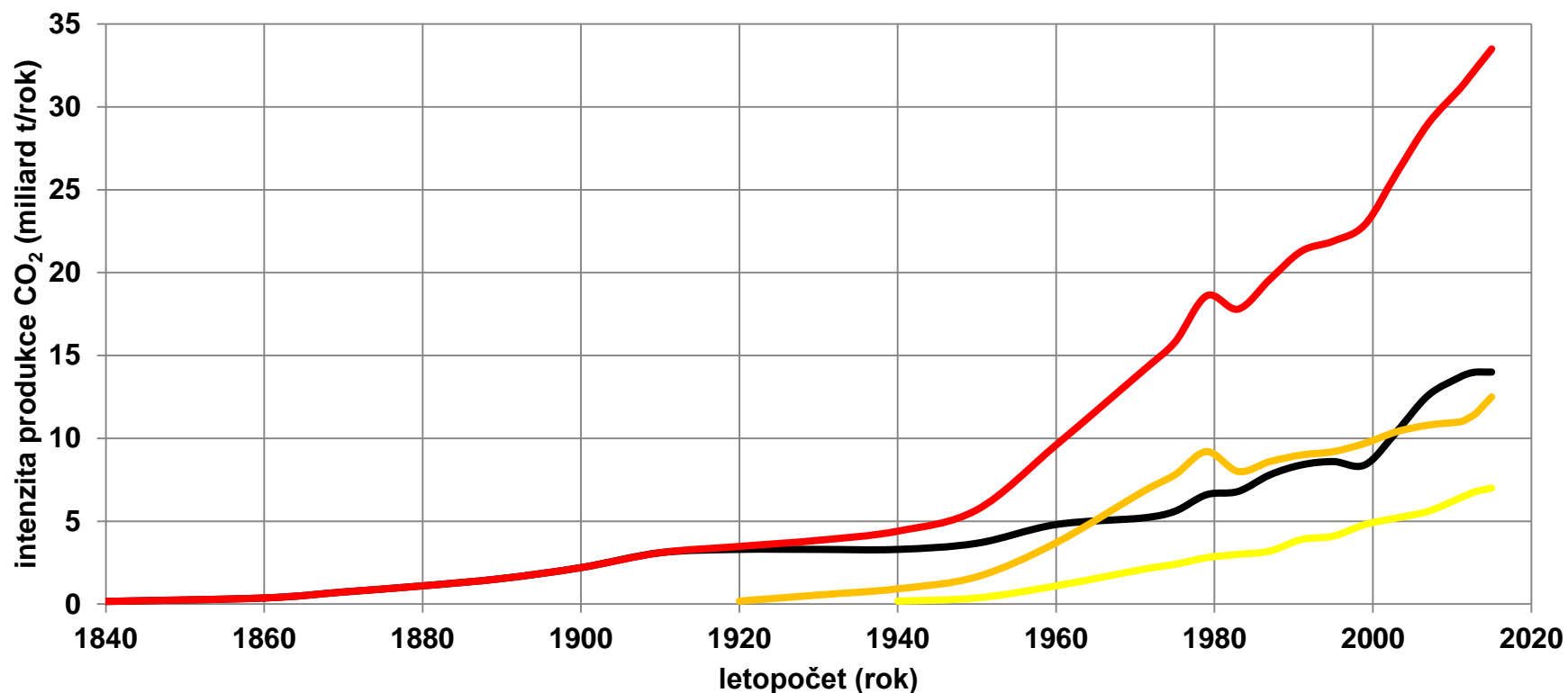
Jedinou cestou ke zamezení antropogenní produkce CO₂ je nespalovat žádná fosilních paliva.

Intenzita produkce oxidu uhličitého spalováním fosilních paliv

Realita roku 2015: 7,3 miliardy lidí vyprodukovalo 32 miliardy tun CO₂/rok.

intenzita produkce CO₂ spalováním fosilních paliv

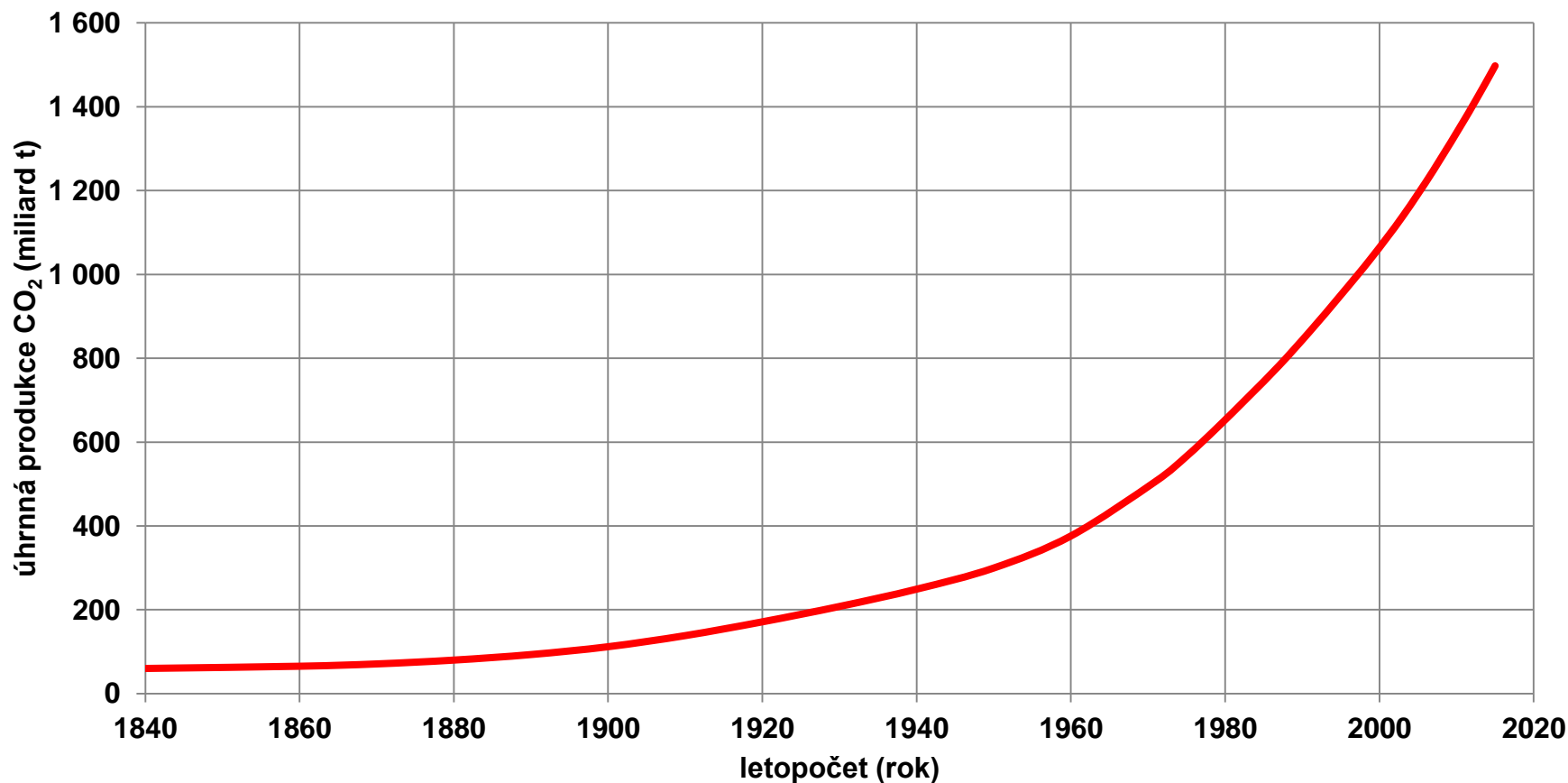
— uhlí — ropa — zemní plyn — celkem



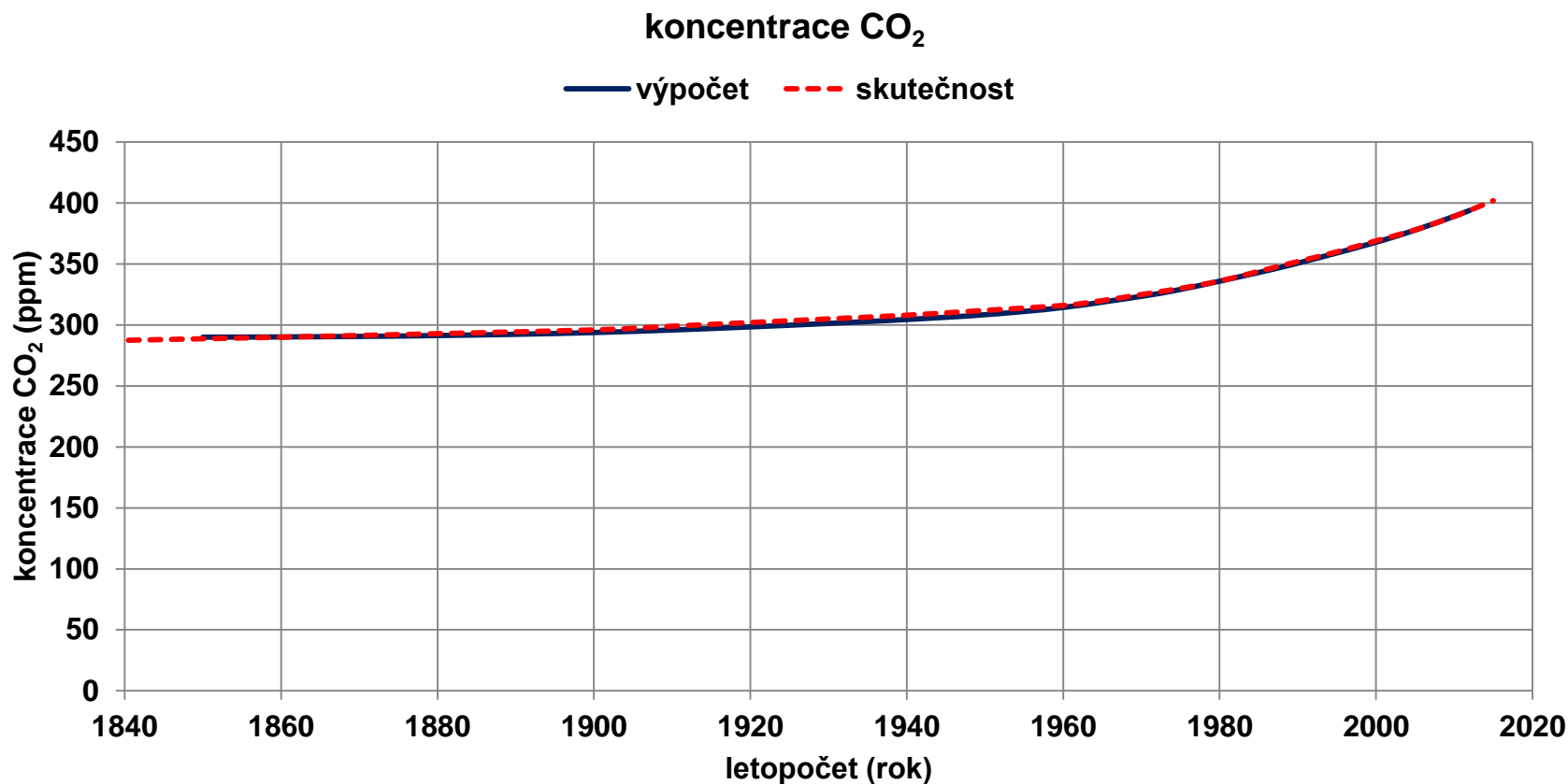
Úhrnná hodnota produkce CO₂ spalováním fosilních paliv **SIEMENS** (do ovzduší již bylo přidáno k 3 500 mld. t dalších 1 500 mld. t CO₂)

antropogenní produkce CO₂

— součtová hodnota



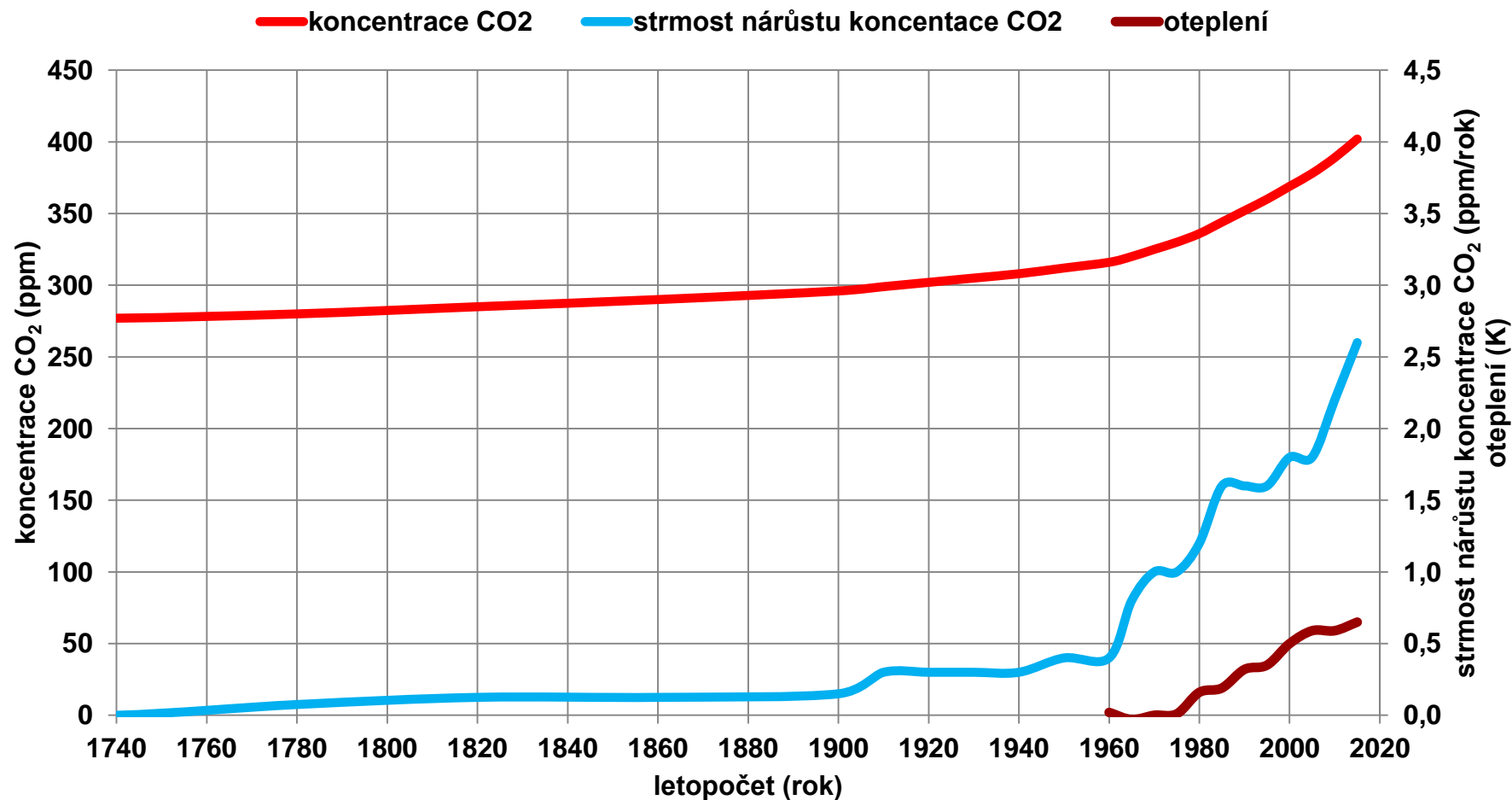
Validace: kontrola shody výpočtu koncentrace CO₂ s měřením



Zákon zachování hmoty funguje. Uhlík z veškerého vytěženého uhlí, ropy a zemního plynu je ve formě CO₂ v ovzduší nad námi.

Důsledky spalování fosilních paliv (koncentrace CO₂ roste v posledních létech o 2,6 ppm/rok)

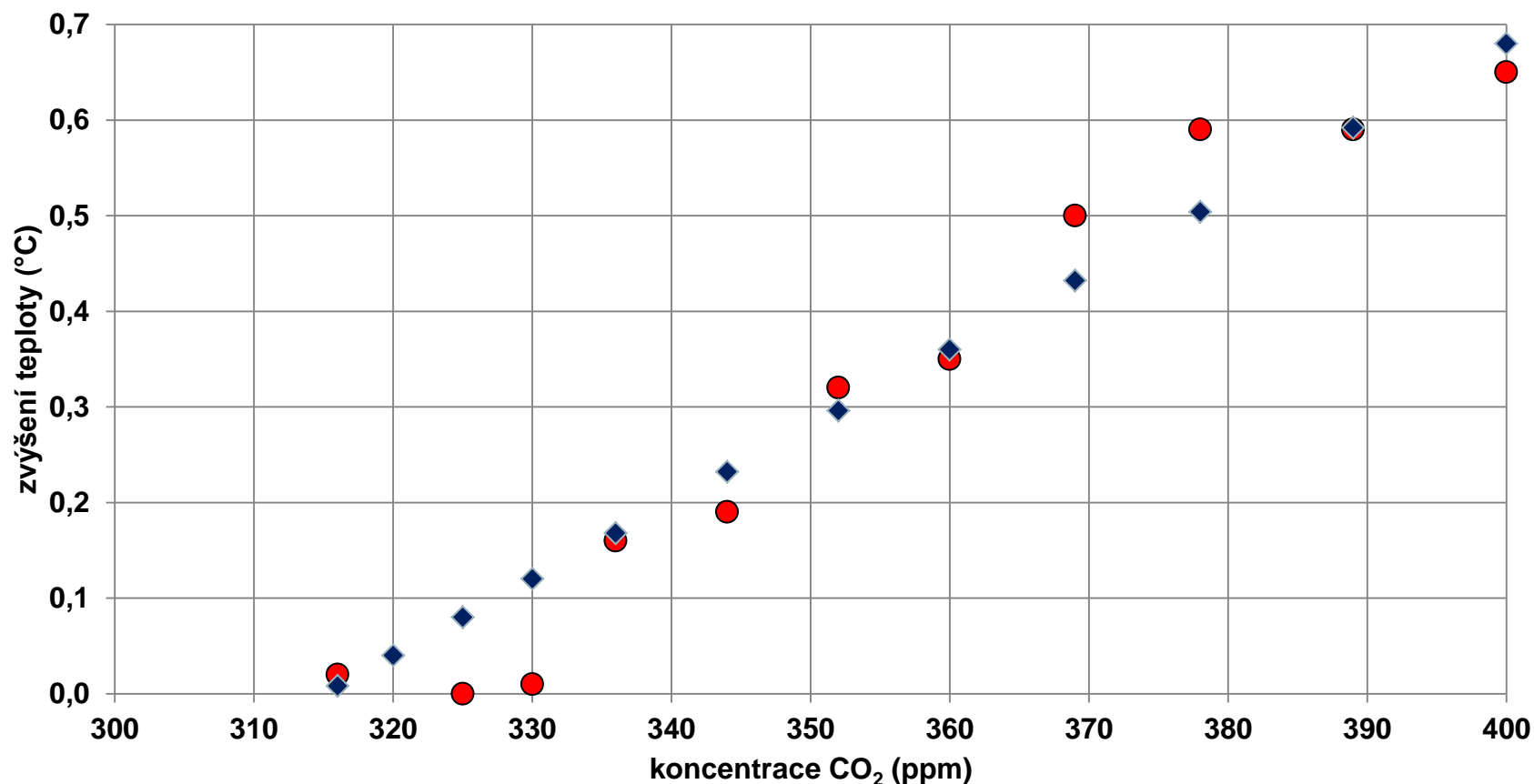
Vývoj koncentrace CO₂ v zemském obalu



Vliv růstu koncentrace CO₂ v důsledku spalování fosilních paliv na oteplení Země (cca 1 °C na 125 ppm CO₂)

závislost zvýšení střední teploty Země na koncentraci CO₂ (1960 až 2015)

● skutečné oteplení ◆ lineární interpolace (1 °C/125 ppm)



Známé zásoby fosilních paliv

| potenciál uhlíkové stopy (ověřené zásoby fosilních paliv) | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------------------------|------------------------------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------|
| | výchozí (1700) | | | dosud (2015) | | | ještě k dispozici | | | celkem | | |
| palivo | produkce mld. t CO ₂ | koncentrace ppm CO ₂ | oteplení °C | produkce mld. t CO ₂ | koncentrace ppm CO ₂ | oteplení °C | produkce mld. t CO ₂ | koncentrace ppm CO ₂ | oteplení °C | produkce mld. t CO ₂ | koncentrace ppm CO ₂ | oteplení °C |
| uhlí | 0 | 0 | 0,00 | 770 | 62 | 0,49 | 1 900 | 152 | 1,22 | 2 670 | 214 | 1,71 |
| ropa | 0 | 0 | 0,00 | 520 | 42 | 0,33 | 600 | 48 | 0,38 | 1 120 | 90 | 0,72 |
| plyn | 0 | 0 | 0,00 | 210 | 17 | 0,13 | 1 000 | 80 | 0,64 | 1 210 | 97 | 0,77 |
| fosilní celkem | 0 | 0 | 0,00 | 1 500 | 120 | 0,96 | 3 500 | 280 | 2,24 | 5 000 | 400 | 3,20 |
| základní | 3 500 | 280 | 0,00 | 3 500 | 280 | 0,00 | 0 | 0 | 0,00 | 3 500 | 280 | 0,00 |
| výsledná | 3 500 | 280 | 0,00 | 5 000 | 400 | 0,96 | 3 500 | 280 | 2,24 | 8 500 | 680 | 3,20 |

Spálení dosud známých geologických zásob fosilních paliv vede ke zvýšení střední teploty Země vůči době předindustriální o 3,2 °C.

To je více, než připouštějí limity dohodnuté na konferenci v Paříži.

Mají – li být dodrženy dohody z Paříže, nebude možno vyčerpat ani dosud známé zásoby fosilních paliv (klimatické limity jsou přísnější, než geologické).

Podíl obyvatele ČR na produkci oxidu uhličitého

| Obyvatelstvo a exhalace (odhad úrovně roku 2015) | | | |
|--|----------------|--------------------------|-----------------------------|
| | počet obyvatel | produkce CO ₂ | měrná prod. CO ₂ |
| objekt | mil. osob | mil. t/rok | t/osobu/rok |
| svět | 7 300 | 33 500 | 4,6 |
| podíl světa | 100% | 100% | 100% |
| ČR | 10,6 | 117 | 11,1 |
| podíl ČR | 0,14% | 0,35% | 241% |
| EU | 503 | 3 700 | 7,4 |
| podíl EU | 7% | 11% | 160% |
| Čína | 1 300 | 8 000 | 6,2 |
| podíl Číny | 18% | 24% | 134% |

Dekarbonizace

Podle zákona zachování hmoty se při spalování uhlí, nafty i zemního plynu přesouvá uhlík v podobě CO₂ z podzemí na oblohu, do zemského obalu.

Oproti době předindustriální jsme již v zemském obalu zvýšili množství oxidu uhličitého z cca 3 500 miliard tun (280 ppm) na současných cca 5 000 miliard tun (400 ppm) a střední roční teplotu země jsem zvedli o cca 1 ° C.

V prosinci 2015 se 147 státníků a reprezentantů ze 196 zemí na konferenci v Paříži dohodlo, že by oteplení nemělo přesáhnout 1,5 až 2 stupně.

K naplnění tohoto cíle můžeme do zemského obalu poslat již jen:

- a) 750 miliard tun CO₂ (pro oteplení o 1,5 °C),
- b) 1 500 miliard tun CO₂ (pro oteplení o 2 °C).

Přitom roční produkce CO₂ činila v roce 2015 32 miliard tun CO₂

Velká část geologických zásob uhlí, ropy a plynu nebude vytěžena, stane se bezcennou.

Dne 22.4. 2016 podepsal na shromáždění OSN v New Yorku za ČR Pařížskou dohodu ministr životního prostředí Richard Brabec.

Dne 21.9. vyjádřila souhlas s ratifikací Pařížské dohody vláda ČR.

K naplnění přijatého cíle, aby oteplení země nepřesáhlo 1,5, respektive 2 °C, již může lidstvo vyprodukovat spalováním fosilních paliv jen 750 respektive 1 500 miliard t CO₂.

Přitom v roce 2015 bylo spalováním fosilních paliv vytvořeno 32 miliard t CO₂. Jak hospodařit s posledními 750, respektive 1 500 miliard t CO₂ patří k nejzásadnějším manažerským rozhodnutím v dějinách lidstva.

V principu jsou dvě možnosti:

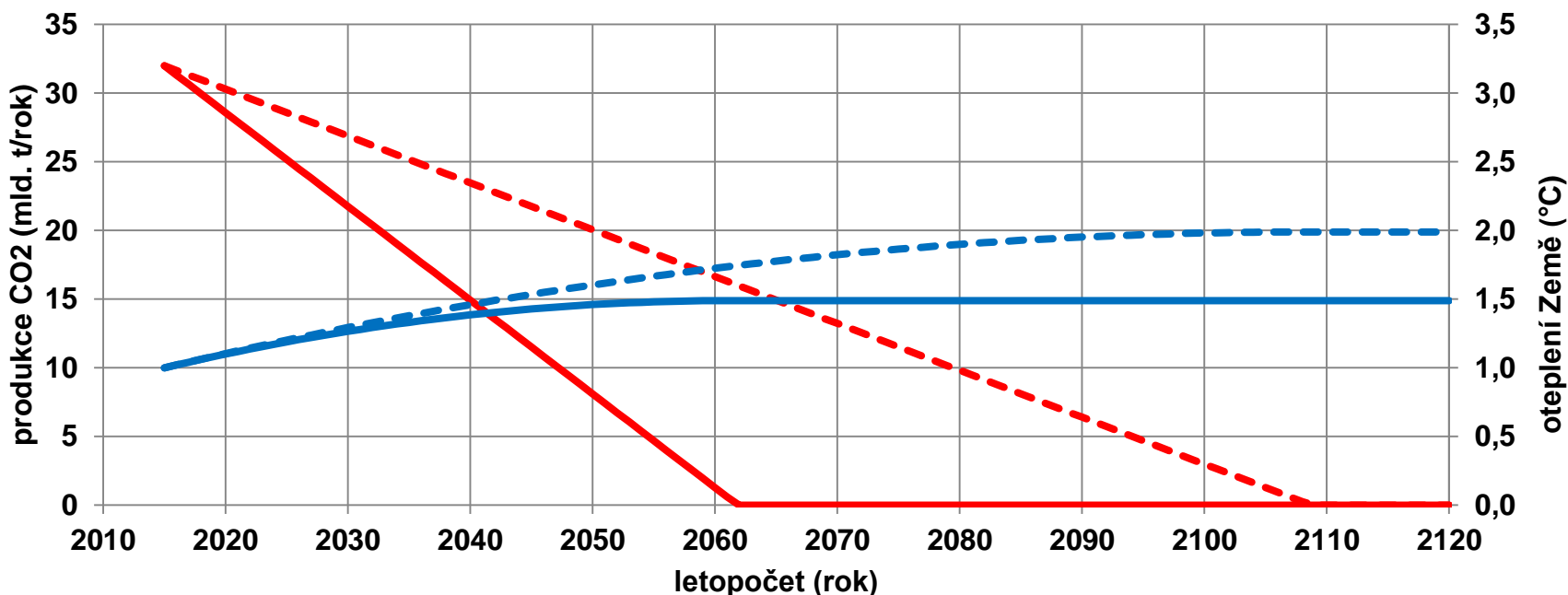
- a) začít snižovat spotřebu fosilních paliv ihned,**
- b) ještě několik let pokračovat v současné úrovni spotřeby fosilních paliv a pak teprve snižovat jejich spotřebu**

Druhý scénář je lákavý, ale zhoubný. Každý další rok neomezované spotřeby zkrátíme období snižování spotřeby o dva roky. Prudké tempo odklonu od používání fosilních paliv nebude snadné zvládnout.

Možné scénáře ukončení spotřeby fosilních paliv: skokový a plynulý

řízení oteplení Země (plynulý scénář)

— produkce CO₂ pro 1,5 °C - - - produkce CO₂ pro 2 °C
— oteplení pro 1,5 °C - - - oteplení pro 2 °C

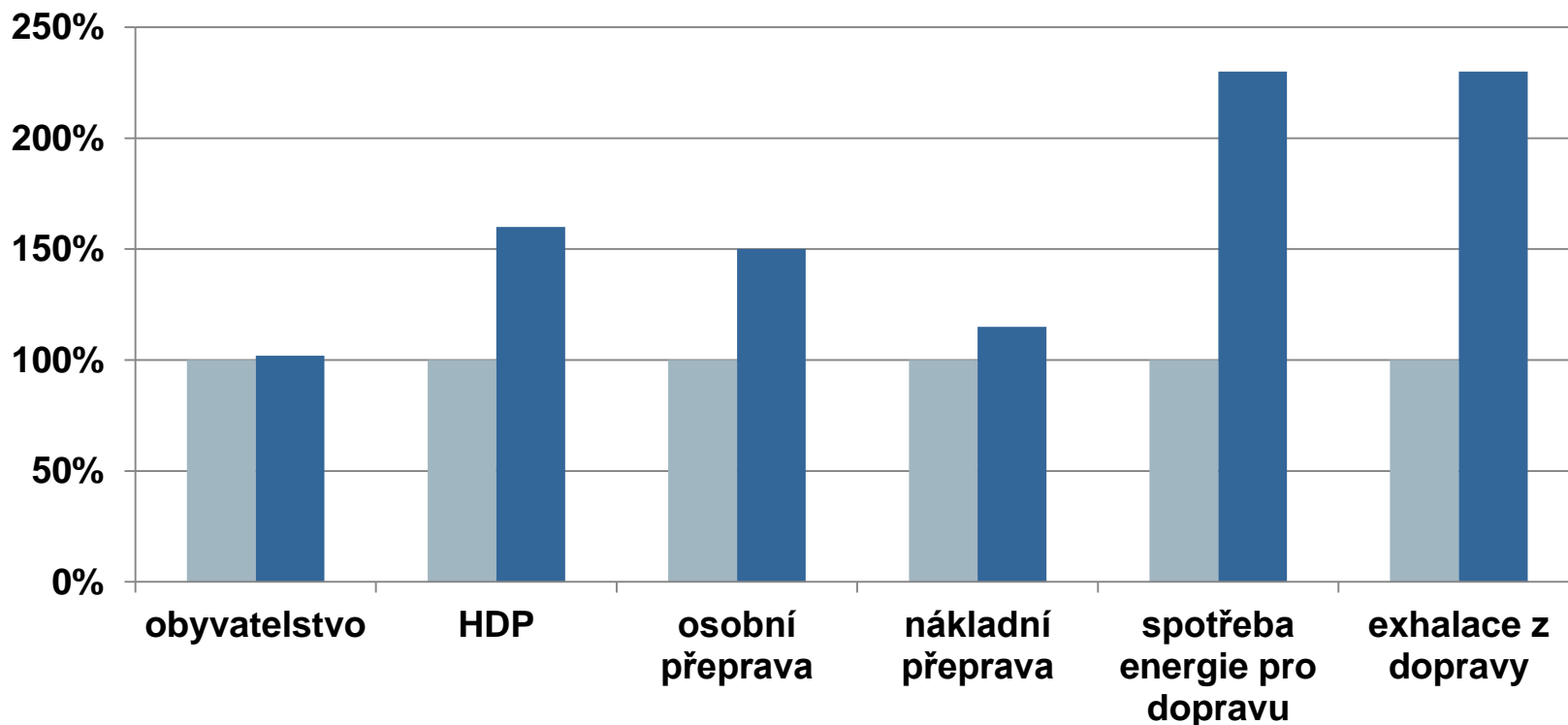


Plynulý pokles prodlouží dobu používání fosilních paliv na dvojnásobek. Ovšem za podmínky bezodkladného zahájení poklesu.

Vývoj dvaceti let v České republice

Česká republika 1993 - 2012

■ 1993 ■ 2012



V průběhu prvních 20 let samostatné ČR došlo ke zvýšení spotřeby energie pro dopravu na 2,3 násobek i ke zvýšení exhalací produkovaných dopravou též na 2,3 násobek. Nyní je úkolem zcela opačný trend: čistá mobilita.

Energetická bilance dopravy v ČR

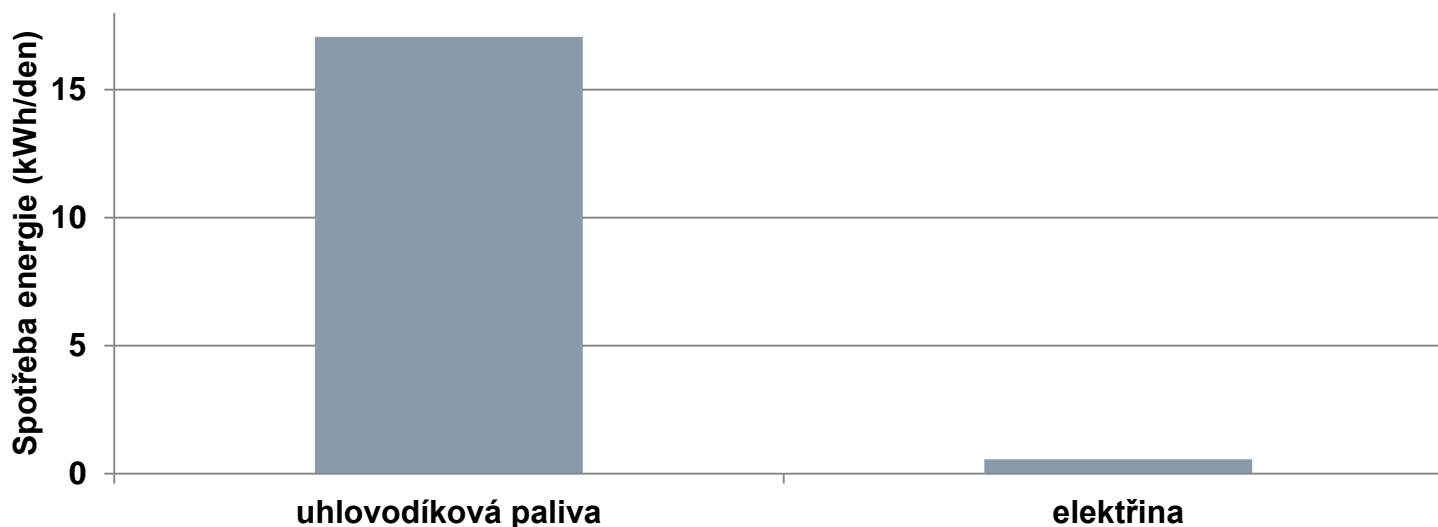
| spotřeba energie (ASEK 2014) | | | | | |
|------------------------------|---------|----------|----------|------|------|
| Česká republika, 2015 | | | | | |
| subjekt | stát | obyvatel | obyvatel | | |
| období | rok | rok | den | | |
| | GWh/rok | kWh/rok | kWh/den | | |
| primární spotřeba energie | 514 528 | 48 770 | 133,6 | | |
| konečná spotřeba energie | 318 472 | 30 187 | 82,7 | 100% | |
| spotřeba energie pro dopravu | 70 611 | 6 693 | 18,3 | 22% | 100% |
| z toho uhlovodíková paliva | 68 222 | 6 467 | 17,7 | | 97% |
| z toho elektřina | 2 389 | 226 | 0,6 | | 3% |

- doprava se v ČR podílí 22 % na konečné spotřebě energie,
- energie pro dopravu je v ČR z 97 % závislá na ropě a jejích náhražkách,
- elektřina tvoří jen 3 % energie pro dopravu, avšak dokáže zajistit 16 % přepravních výkonů osobní dopravy a 20 % přepravních výkonů nákladní dopravy.

Struktura zdrojů energie pro dopravu v ČR

Podíl uhlovodíkových paliv na energiích pro dopravu činí 97 % (17,7 kWh/obyv./den),
Podíl elektřiny na energiích po dopravu je jen 3 % (0,6 kWh/obyv./den).

denní spotřeba energie pro dopravu na jednoho obyvatele v ČR



I takto malý (3 %) podíl elektrické energie však v ČR zajišťuje:

- 16 % přepravních výkonů osobní dopravy,
- 20 % přepravních výkonů nákladní dopravy.

=> to dokládá vysokou efektivitu elektrické vozby, zejména kolejové.

Energie pro dopravu

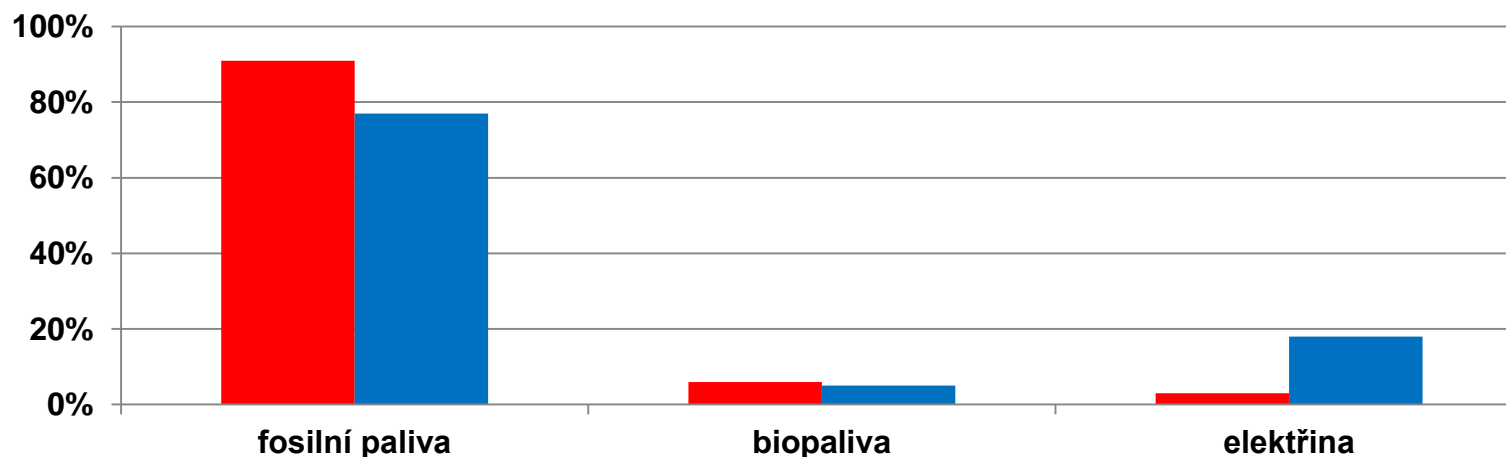
Konečná spotřeba energie činí v ČR 83 kWh/obyvatele/den.
Z toho 21 % je podíl dopravy se spotřebou 18 kWh/obyvatele/den.

Struktura spotřeby energie pro dopravu :

- fosilní paliva 91 % (zajišťuje 77 % přepravních výkonů),
- biopaliva 6 % (zajišťuje 5 % přepravních výkonů) ,
- elektřina 3 % (zajišťuje 18 % přepravních výkonů).

ČR: struktura energií pro dopravu

■ spotřeba energie ■ přepravní výkon



Energetická náročnost mobility

Možnosti volby:

I. valivý odpor $F_v = f_v \cdot m \cdot g$

a) pneumatika/vozovka: $f_v = 0,008$ (z bezpečnostních důvodů nelze snížit),

b) ocelové kolo/ocelová kolejnice: $f_v = 0,001$

II. aerodynamický odpor $F = 0,5 \cdot \rho \cdot C_x \cdot S \cdot v^2$

a) individuální doprava: za čelní plochou S jsou umístěny 2 řady sedadel,

b) hromadná doprava: za čelní plochou S je umístěno 15 řad sedadel (bus),
respektive 250 řad sedadel (vlak)

III. účinnost motoru

a) spalovací motor: cca 36 % (téměř výhradně fosilní paliva – ropa a zemní plyn),

b) elektrický motor: cca 92 % (elektrická energie vyrobitelná i z obnovitelných zdrojů)

Energetická náročnost mobility

Měrná spotřeba energie je dána podílem fyzikální a dopravní práce:

$$e = A / D = F \cdot L / (m \cdot L) = F / m \text{ (kWh/tkm, respektive kWh/os. km)}$$

Měrná spotřeba energie závisí na valivém tření ($F_v = f_v \cdot m \cdot g$), aerodynamickém odporu ($F_a = 0,5 \cdot \rho \cdot C_x \cdot S \cdot v^2$) a účinnosti pohonů (η):

$$e = F / \eta = (F_v + F_a) / \eta = (f_v \cdot m \cdot g + 0,5 \cdot \rho \cdot C_x \cdot S \cdot v^2) / \eta$$

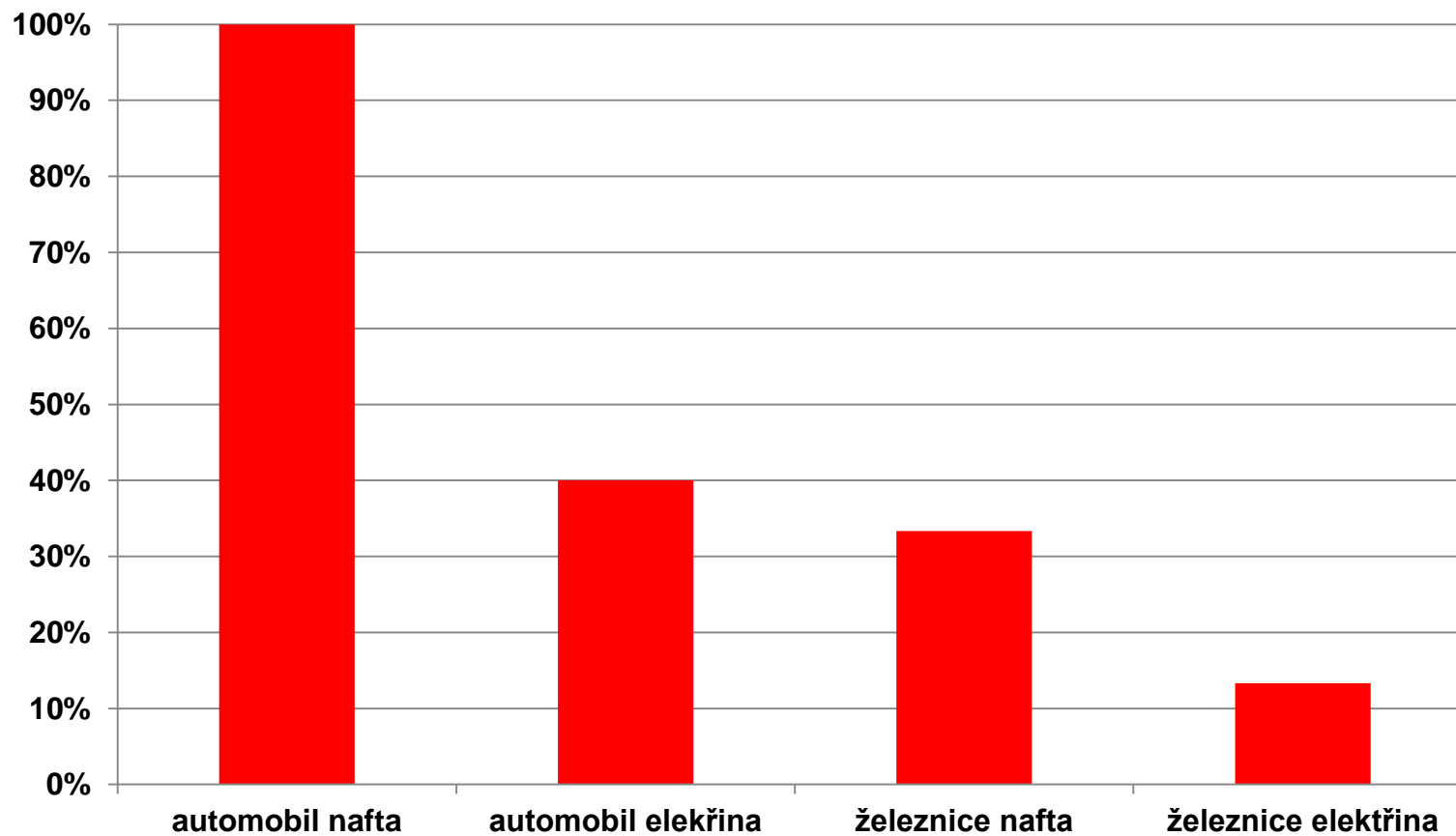
Ideální vozidlo:

- nízký součinitel valivého odporu f_v (tvrdá kola, tvrdá jízdní dráha),
- štíhlý aerodynamický tvar $C_x \cdot S$,
- vysoká účinnost pohonu η



Energetická náročnost mobility

poměrná energetická náročnost dopravy



EC/IC vlaky

Železnice – jízda rychlostí 160-200 km/h: spotřeba 2,5 kWh/sedadlo/100 km

Automobil – jízda rychlostí 130 km/h: spotřeba 12,5 kWh/sedadlo/100 km



HS vlaky

Pěšky – chůze rychlostí 5 km/h: spotřeba 8 kWh/100 km

Železnice – jízda rychlostí 300 km/h: spotřeba 4 kWh/sedadlo/100 km

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



Doprava ISO kontejnerů

1 TEU = dvacetistopý kontejner
rozměry: 8' x 8' x 20'
2,438 m x 2,438 m x 6,096 m,
hmotnost cca 15 t

Silniční doprava

1 automobil 2 TEU, 90 km/h
spotřeba 48 litrů nafty (s tepelným obsahem 10 kWh/litr)
na 100 km
=> 0,24 litru nafty na 1 kontejner a 1 km
=> 2,4 kWh na 1 kontejner a 1 km

Železniční doprava

1 vlak, 92 TEU, 100 km/h
spotřeba 28 kWh elektrické energie na 1 km
=> 0,3 kWh na 1 kontejner a 1 km

=> jeden vlak nahradí 46 nákladních automobilů

=> spotřeba energie pro dopravu jednoho kontejneru je 8 krát menší



Státní energetická koncepce České republiky

V květnu 2015 přijala vláda ČR strategický dokument Státní energetická koncepce České republiky, který předložilo Ministerstvo průmyslu a obchodu.

Jedním z bodů koncepce je orientace ČR na bezemisní elektroenergetiku, což má dva cíle:

Zvýšení podílu elektřiny na celkové konečné spotřebě energií z dosavadních 18 % na 23 % v roce 2040,

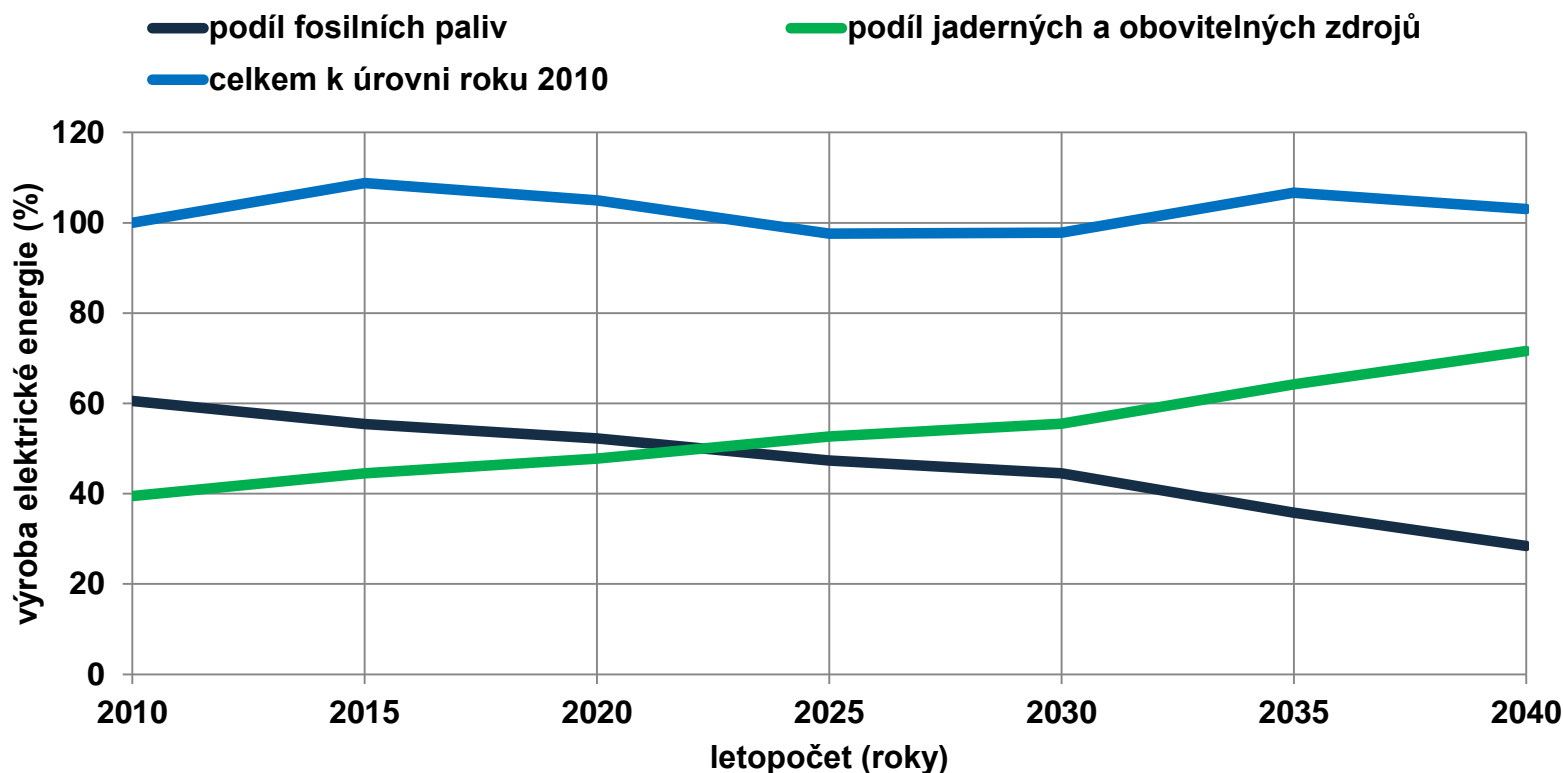
⇒ **náhrada části importované ropy elektrickou energií**
(pokles jejího podílu na konečné spotřebě ze 30 % na 23 %),

Zásadní proměna elektrárenství, dosud z 61 % založeného na spalování fosilních paliv (zejména hnědého uhlí), na dominantní (72 %) roli **bezemisních elektráren**, fosilní paliva budou zajišťovat jen 29 % výroby elektrické energie.

⇒ pokles produkce CO₂ na výrobu 1 kWh elektrické energie (uhlíková stopa) o více než 50 %.

Usnesení vlády ČR č. 362/2015 Státní energetická koncepce ČR

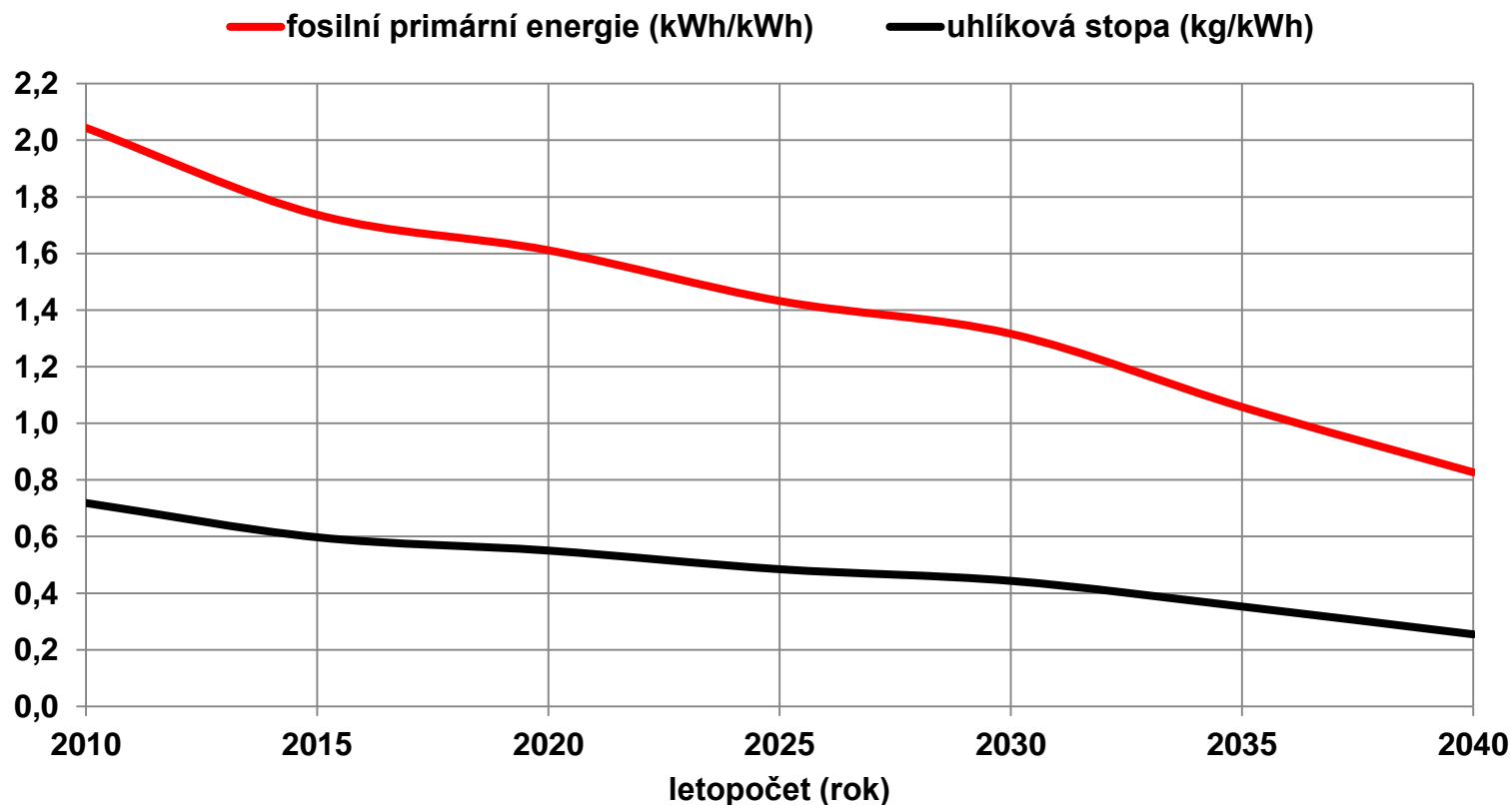
Výroba elektrické energie v ČR



**Aktualizovaná státní energetická koncepce ČR předepisuje snížit do roku 2040 podíl fosilních paliv na výrobě elektrické energie ze 61 % na 28 %.
Tím dojde ke snížení uhlíkové stopy při výrobě elektrické energie pod polovinu.**

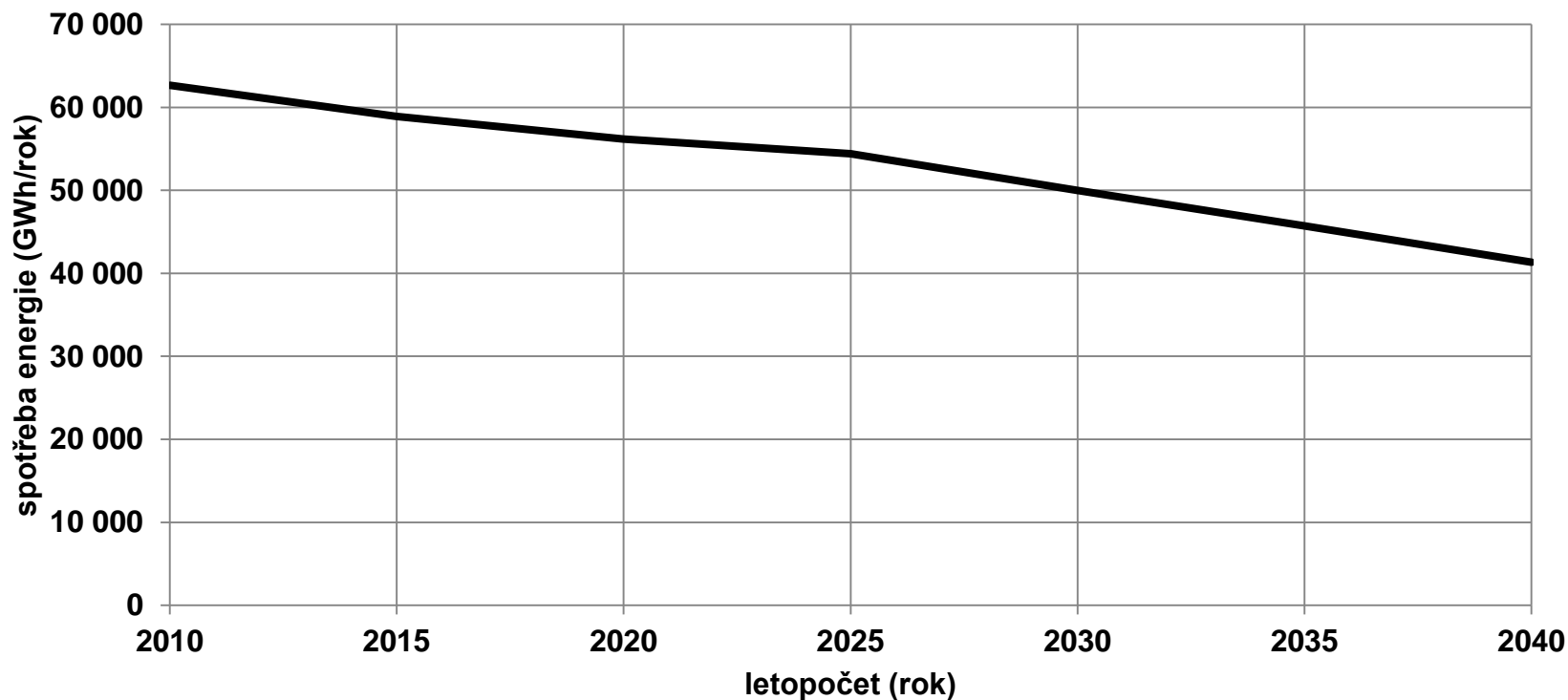
Usnesení vlády ČR č. 362/2015 Státní energetická koncepce ČR

výroba elektřiny v ČR



Podle aktualizované státní energetická koncepce ČR bude trvale klesat měrná spotřeba fosilních paliv potřebných k výrobě elektrické energie a spolu s tím i uhlíková stopa elektrické energie.

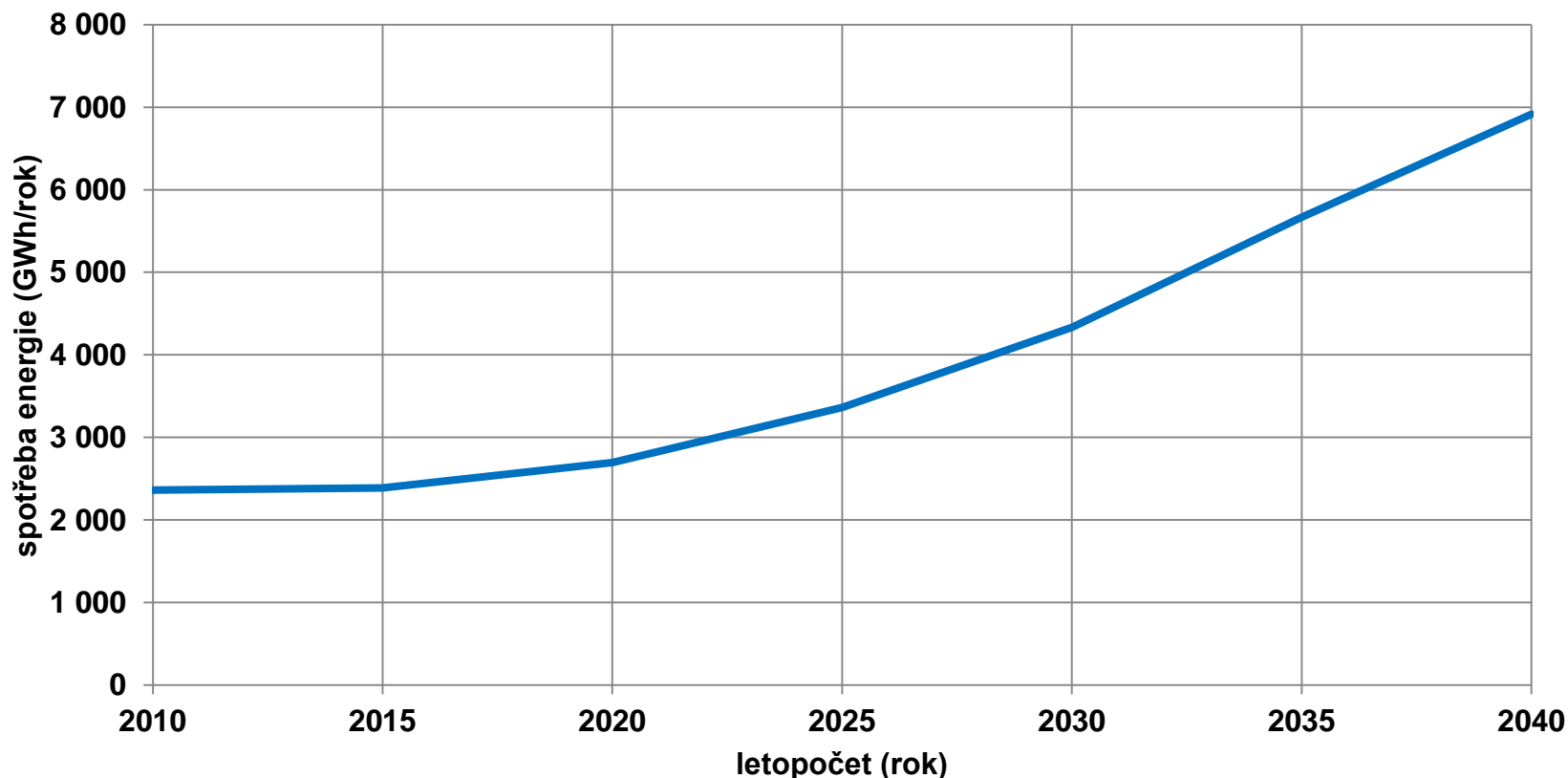
Roční spotřeba ropných produktů v dopravě v ČR



Úkol pro dopravu: snížit do roku 2030 spotřebu ropných paliv o 9 miliard kWh/rok

Aktualizovaná státní energetická koncepce ČR (přijata vládou ČR v květnu)

ASEK 2014: elektrická energie pro dopravu v ČR



Úkol pro dopravu: do roku 2030 zvýšit uplatnění elektřiny v dopravě o 1,9 mld. kWh/rok

Bezemisní železnice

Bezemisní městská hromadná doprava

Plnění cílů SEK (schválených vládou ČR dne 18.5.2015):

- snížit do roku 2030 spotřebu ropných produktů v dopravě o 9 000 mil. kWh/rok (z 59 000 mil. kWh/rok na 50 000 mil. kWh/rok)

-zvýšit do roku 2030 spotřebu elektrické energie v dopravě o 1 900 mil. kWh/rok (z 2 400 mil. kWh/rok na 4 300 mil. kWh/rok)

| Strategie plnění ASEK ČR v rozmezí let 2015 až 2030 (směrné hodnoty) | | | | |
|---|--------------|-----------|-------|--------|
| | | železnice | MHD | celkem |
| výchozí spotřeba elektrické energie | mil. kWh/rok | 1 300 | 1 100 | 2 400 |
| výchozí vnitřní spotřeba energie ropných paliv | mil. kWh/rok | 500 | 900 | 1 400 |
| spotřeba elektrické energie pro vnitřní náhradu ropných paliv | mil. kWh/rok | 200 | 300 | 500 |
| spotřeba elektrické energie včetně vnitřní náhrady ropných paliv | mil. kWh/rok | 1 500 | 1 400 | 2 900 |
| spotřeba elektrické energie pro vnější náhradu ropných paliv | mil. kWh/rok | 1200 | 200 | 1 400 |
| nahrazovaná vnější spotřeba energie ropných paliv | mil. kWh/rok | 7800 | 1400 | 9 200 |
| spotřeba elektrické energie včetně vnitřní i vnější náhrady ropných paliv | mil. kWh/rok | 2 700 | 1 600 | 4 300 |
| nahrazovaná vnitřní i vnější spotřeba energie ropných paliv | mil. kWh/rok | 8 300 | 2 300 | 10 600 |

S využitím přidělené zvýšené spotřeby elektrické energie 1 900 mil. kWh/rok je reálné zavést v ČR do roku 2030 bezemisní železnici a bezemisní městskou hromadnou dopravu a ušetřit energii ropných paliv 10 600 mil. kWh/rok.

Bezemisní městská hromadná doprava

Výchozí stav:

- zásadní role elektrické trakce (metro, tramvaje, trolejbusy),
- avšak významný (a rostoucí) podíl fosilních paliv hromadné dopravě (autobusy),
- nadměrný podíl individuální dopravy

Cílový stav:

100 % elektrizace městské hromadné dopravy

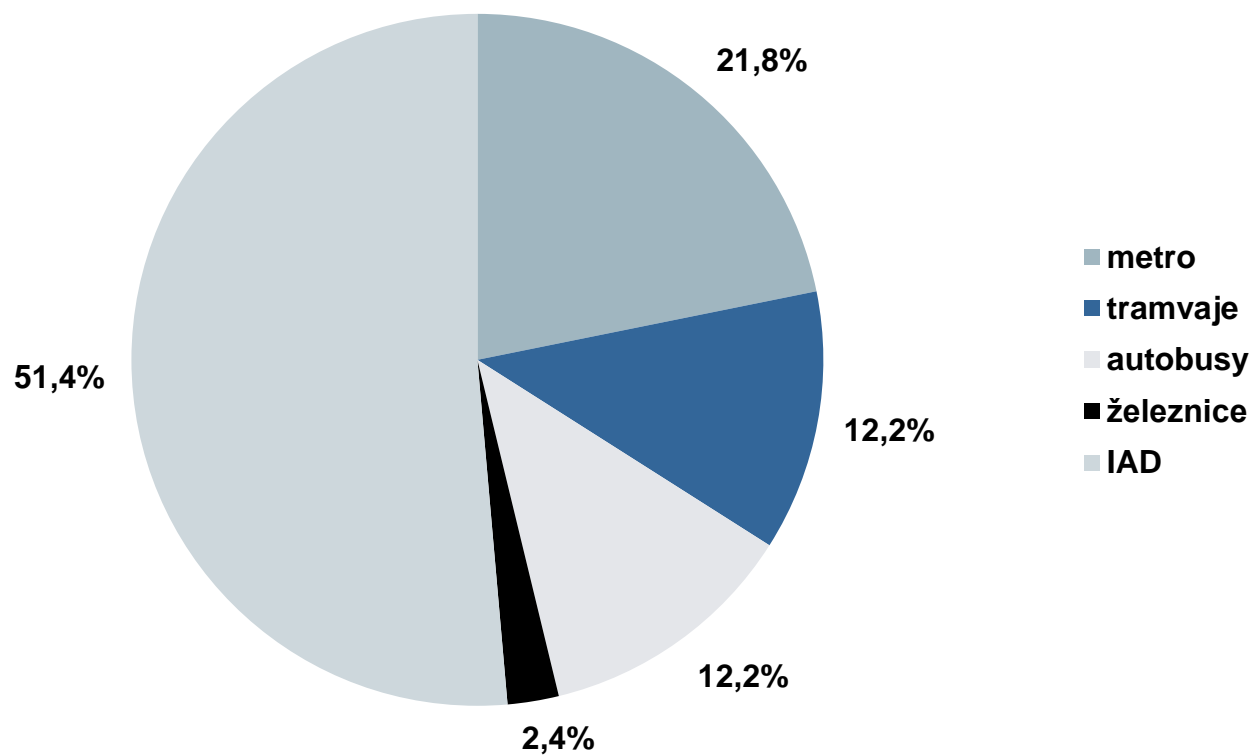
Systemově propojená kombinace:

- vozidla s liniovým napájením,
- vozidla s akumulátory (elektrobusy)

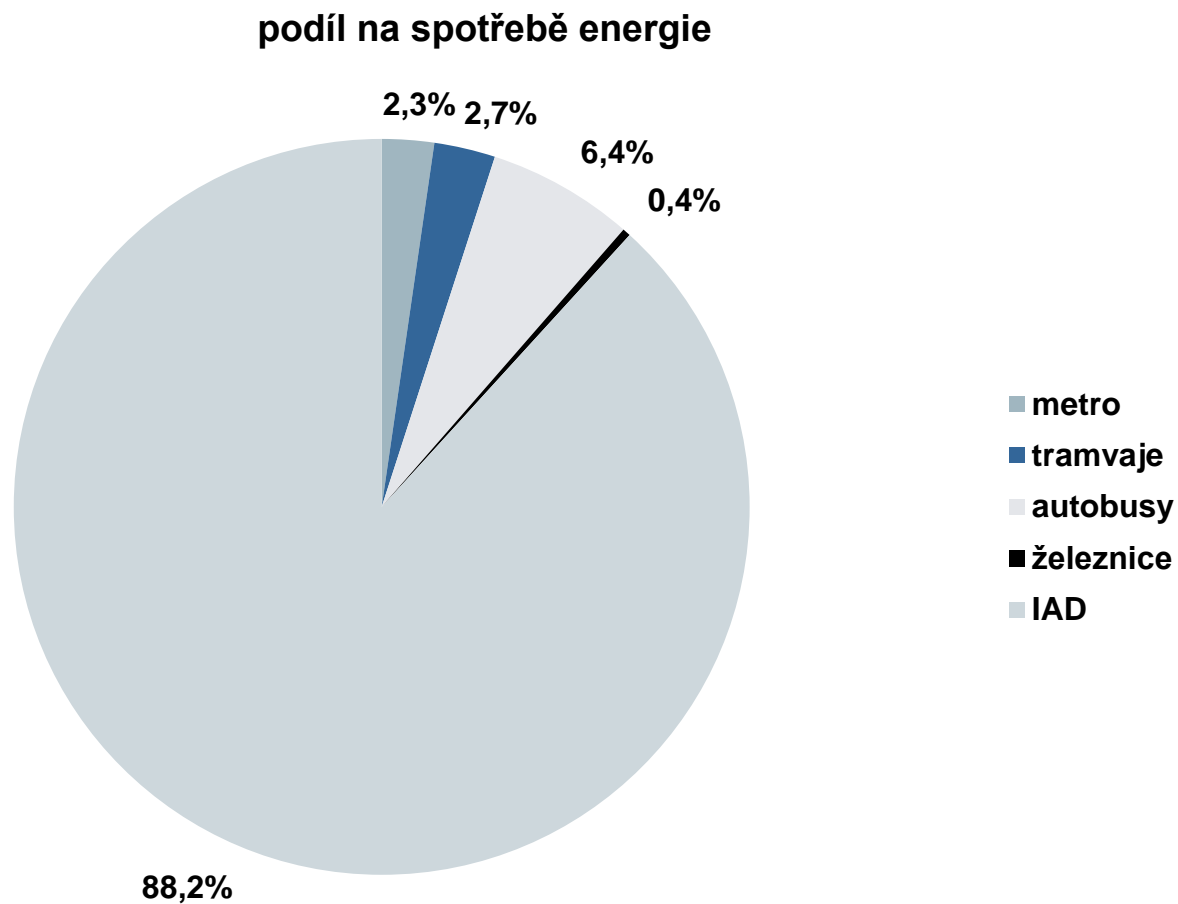
Průběžné statické i dynamické nabíjení využívající pevná trakční zařízení liniových drah

Struktura osobní dopravy v Praze

podíl na přepravních výkonech



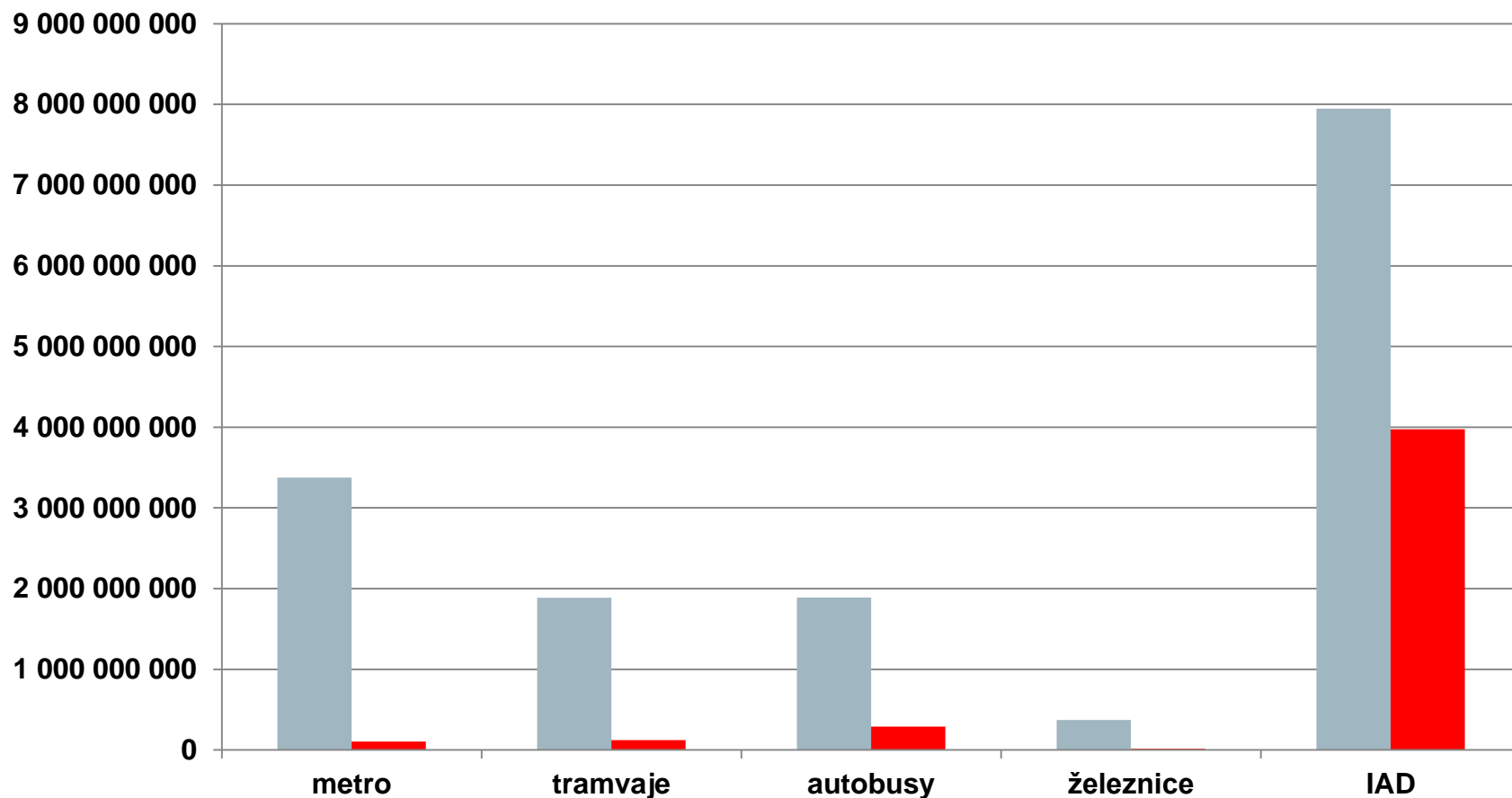
Struktura spotřeby energie pro dopravu v Praze



Doprava osob v Praze (přibližné hodnoty podle statistik TSK a DP)

doprava osob v Praze

■ přepravní výkon os. km/rok ■ spotřeba energie kWh/rok



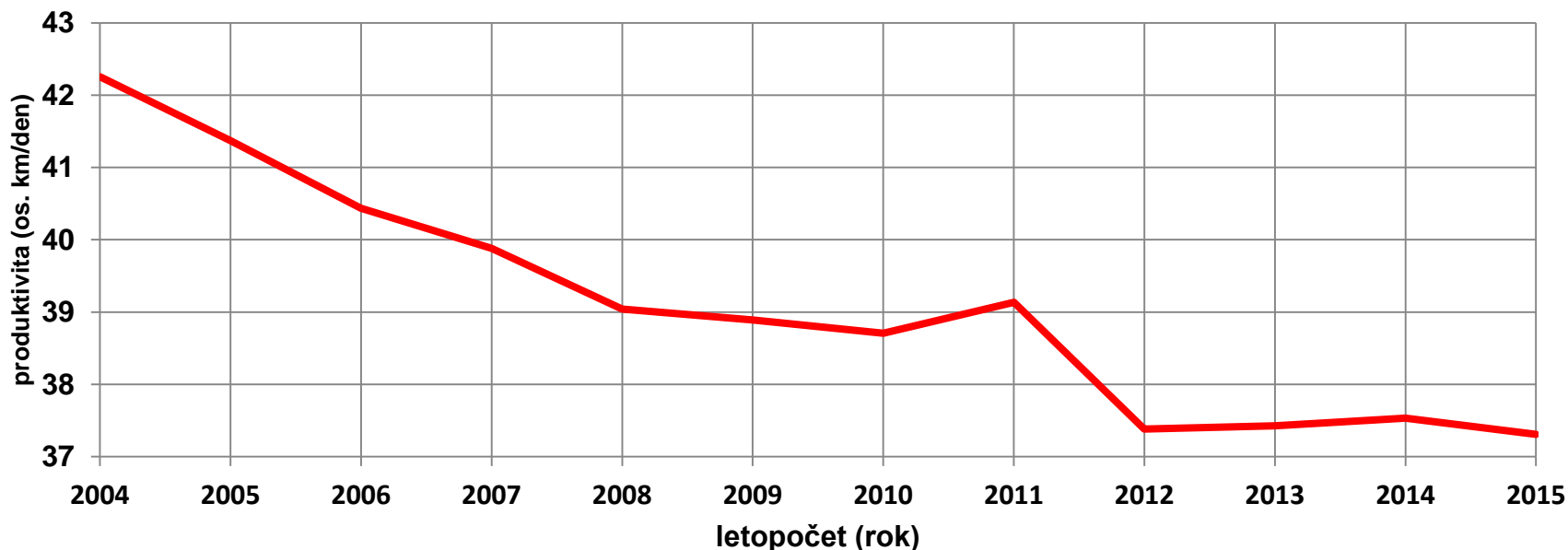
Doprava osob v Praze (přibližné hodnoty podle statistik TSK a DP)

| system | metro | tramvaje | autobusy | železnice | IAD |
|-------------------------------|-------|----------|----------|-----------|-------|
| podíl na přepravních výkonech | 21,8% | 12,2% | 12,2% | 2,4% | 51,4% |
| podíl na spotřebě energi | 2,3% | 2,7% | 6,4% | 0,4% | 88,2% |

Kontinuální pokles produktivity osobních automobilů registrovaných v ČR (MD ČR: Ročenka dopravy 2015)

| rok | | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
|-------------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| přepravní výkon | mil. os. km | 58 887 | 59 819 | 60 682 | 62 346 | 63 078 | 63 000 | 63 570 | 65 490 | 64 260 | 64 650 | 66 260 | 69 705 |
| počet automobilů | | 3 815 547 | 3 958 708 | 4 108 610 | 4 280 081 | 4 423 370 | 4 435 052 | 4 496 232 | 4 581 642 | 4 706 325 | 4 729 185 | 4 833 386 | 5 115 316 |
| produktivita automobilu | os.km/den | 42,3 | 41,4 | 40,4 | 39,9 | 39,0 | 38,9 | 38,7 | 39,1 | 37,4 | 37,4 | 37,5 | 37,3 |

produktivita osobního automobilu v ČR



Roste počet automobilů, ale stagnují přepravní výkony – klesá produktivita
Průměrný automobil je v ČR denně využíván méně než půl hodiny, 23,5 h denně překáží

Meze použitelnosti individuální automobilové dopravy

Individuální automobilová doprava může být doplňkovým, nikoliv základním dopravním systémem:

- vysoká energetická náročnost (odpor valení, aerodynamika),
 - závislost na ropných palivech,
 - nepříznivé environmentální dopady,
 - nízké využití investic vložených do dopravních prostředků (ČR: 24 minut ze 24 hodin) –
 - nevyužití (ztráta) času stráveného cestováním.
- => automobily lidem 2 % času slouží a 98 % je obtěžují

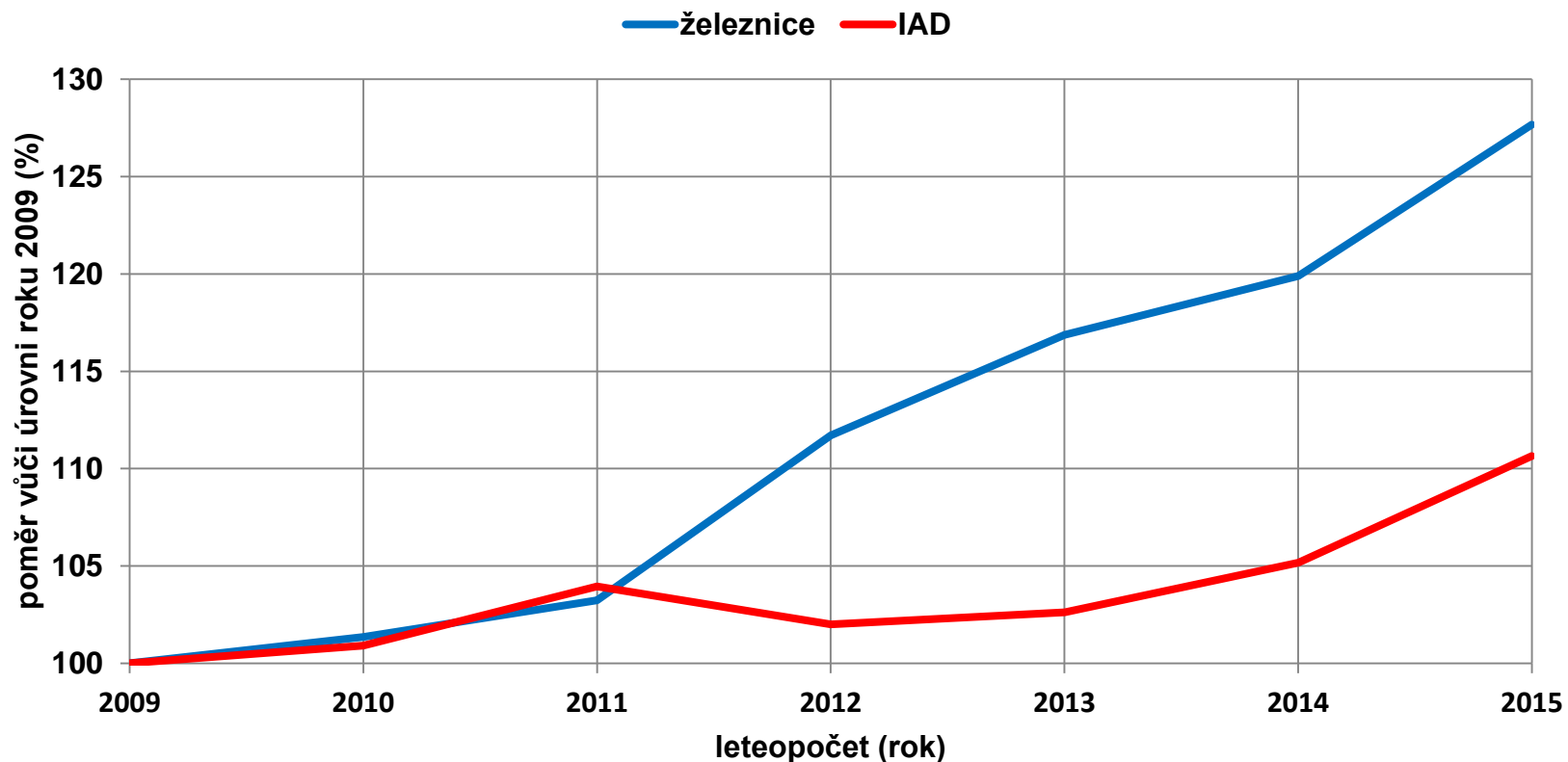
Individuální automobilová doprava je:

- investičně a provozně drahá,
- časově náročná,
- energeticky náročná, nepříznivá vůči přírodě a životnímu prostředí.

Proto má smysl ji aplikovat tam a jenom tam, kde se pro slabost a nepravidelnost přepravních proudů nevyplatí budovat hromadnou dopravu

Odezva cestujících na zkvalitnění železnice

ČR: vývoj přepravních výkonů osobní dopavy (os km) vůči roku 2009



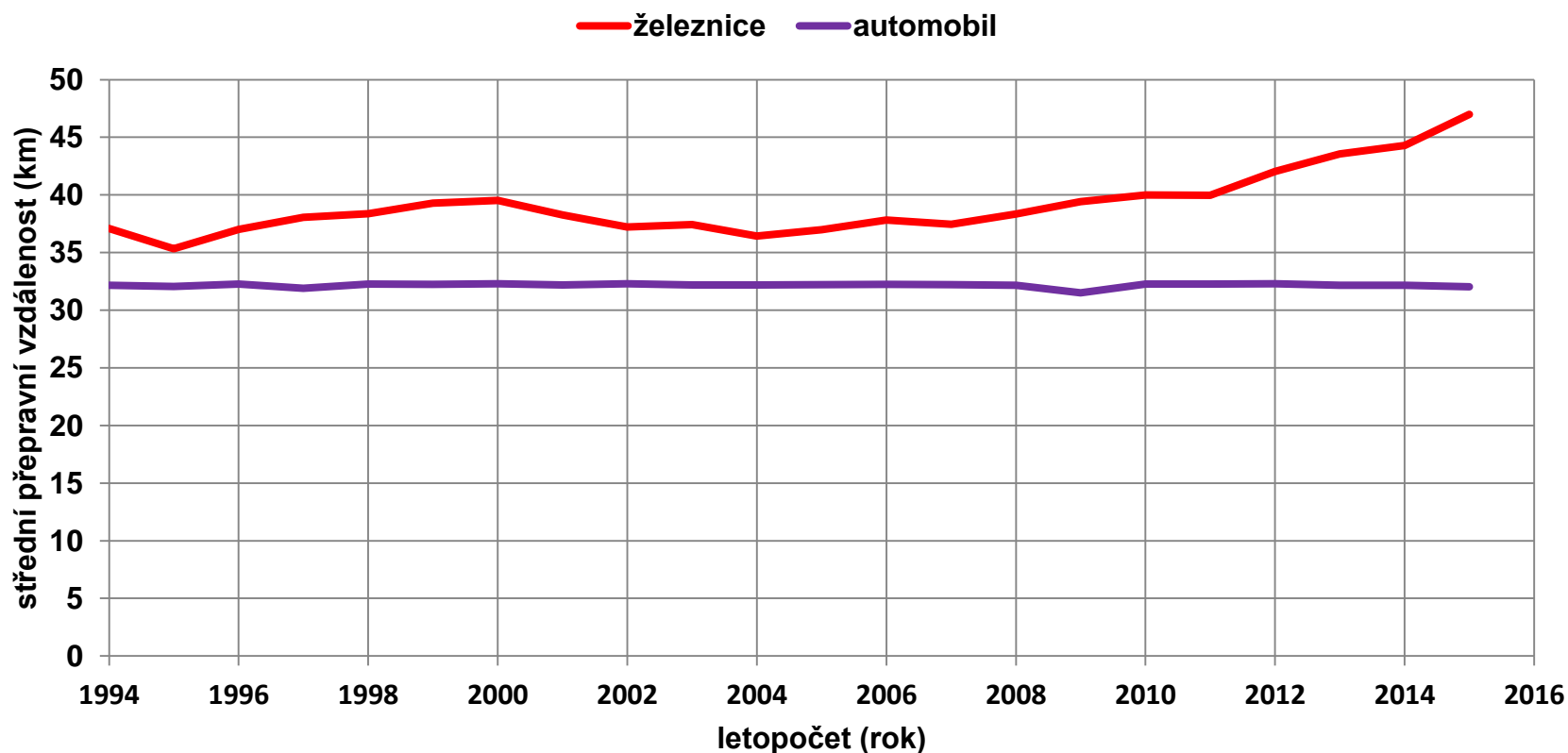
Cestující reagují na zvýšení kvality přepravní nabídky ze strany železnice (vyšší rychlost a pohodlí) pozitivně – preferují veřejnou hromadnou dopravu.

Potřebují občané ČR dálnice?



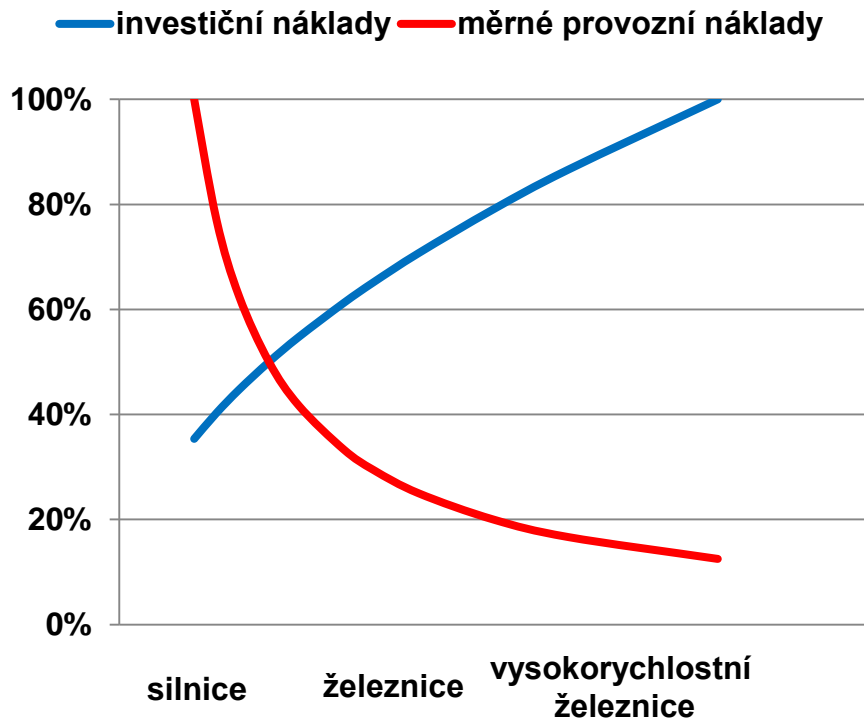
Nechtějí raději (elektro) mobil pro poslední míli k/od hromadné dopravy?

střední přepravní vzdálenost automobilové a osobní železniční dopravy v ČR

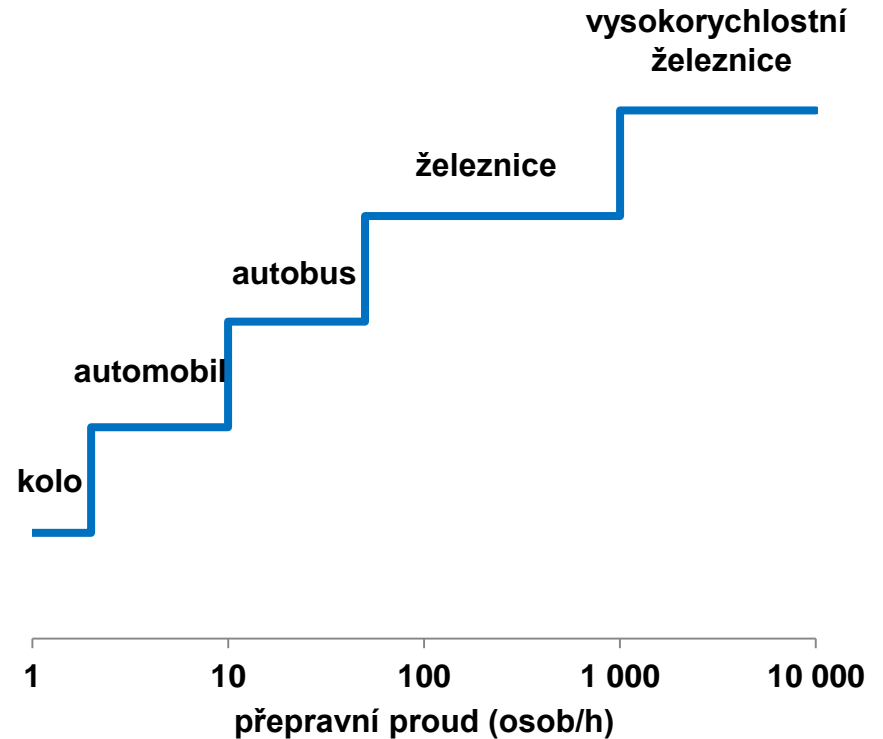


Doprava 4.0: optimalizace investic - dělba dopravních úloh v závislosti na intenzitě přepravního proudu

struktura nákladů dopravních systémů



volba optimálního dopravního systému



Motivace k rozvoji elektrizace železnic

- je smysluplné elektrifikovat tratě, na kterých MD ČR objednává intenzivní dálkovou dopravu – v opačném případě si z výběrových řízení vzešlí dopravci pořídí vozidla na naftu a na dalších 30 let bude konzervován současný stav motorového provozu (Plzeň - Domažlice, Jaroměř – Trutnov, Praha – Turnov, Staré Město – Luhačovice/Bojkovice/Veselí, Brno – Jihlava, Šumperk – Jeseník, ...)
- je smysluplné elektrifikovat tratě, na kterých kraje objednávají intenzivní regionální dopravu – v opačném případě si z výběrových řízení vzešlí dopravci pořídí vozidla na naftu a na dalších 30 let bude konzervován současný stav motorového provozu (Praha – Kladno – Rakovník, Praha - Rudná – Beroun, Český Těšín - Ostrava – Valašské Meziříčí – Hulín - Kojetín, Pardubice – Chrudim, Olomouc – Uničov, Brno – Veselí nad Moravou, ...),
- je smysluplné elektrifikovat tratě, které mají potenciál rozvoje dálkové nákladní dopravy (Mladá Boleslav – Praha/Nymburk, Plzeň – Česká Kubice, Jihlava – Znojmo, ...)

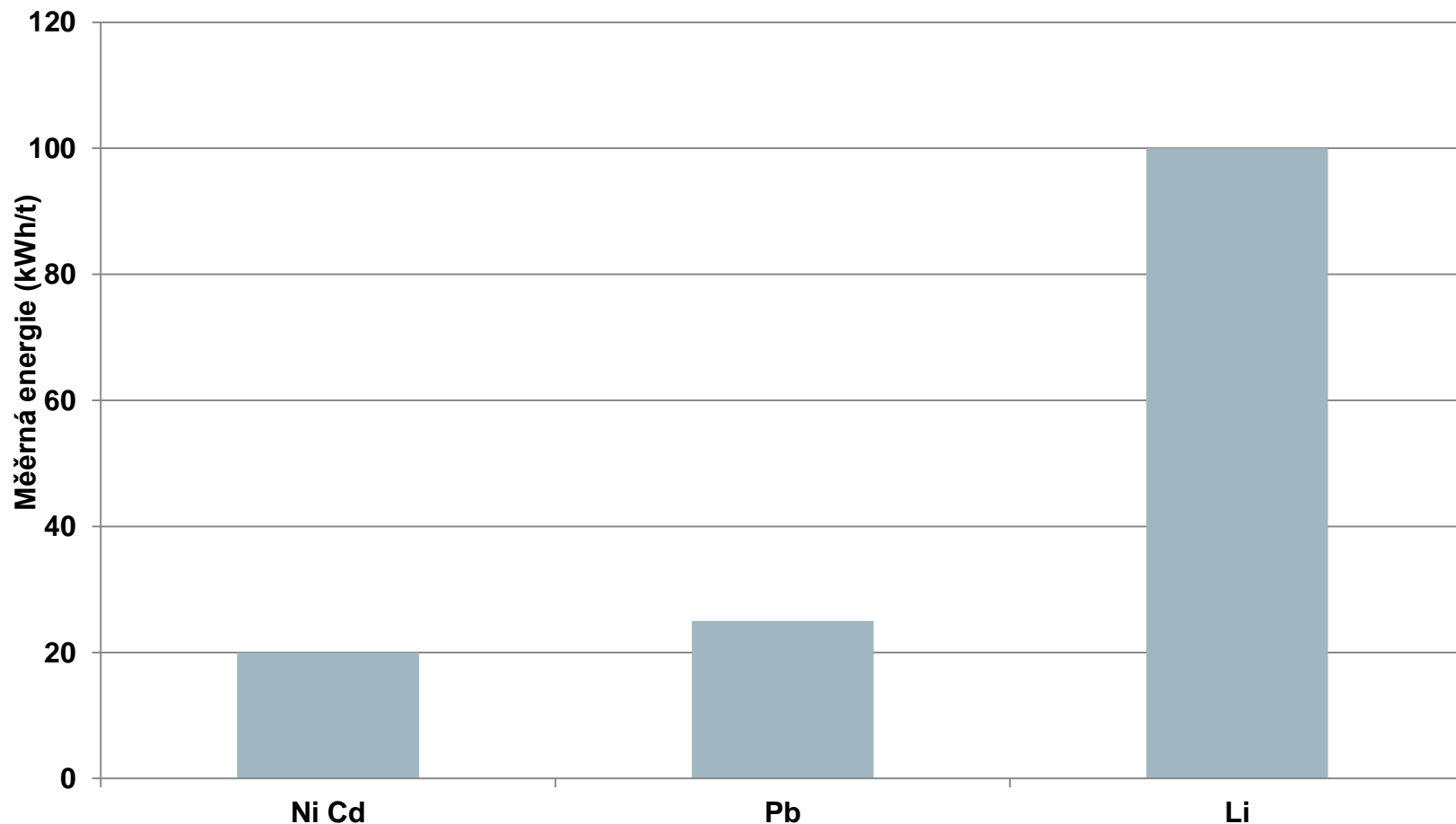
Polozávislá elektrická vozba a moderní železnice

Železniční vozidla mají ve srovnání s automobily pro aplikaci zásobníků energie výhodné technické a ekonomické předpoklady:

- nižší valivý odpor (ocelová kolejnice) a nižší aerodynamický odpor (zařazení vozidel do vlaku v těsném zákrytu) snižují spotřebu energie a tím i velikost zásobníku energie,**
- větší rozměry a hmotnost železničních vozidel usnadňují zástavbu zásobníků energie,**
- již vybudovaná elektrizace části železniční sítě je využitelná jako infrastruktura pro nabíjení polozávislých vozidel, provozovaných na zbývající (neelektrizované) části sítě,**
- zastávkový princip veřejné hromadné dopravy umožňuje využívat zásobníky energie nejen k napájení vozidla, ale i ke zvýšení hospodárnosti provozu rekuperačním brzděním,**
- velké denní proběhy vozidel veřejné hromadné dopravy umožňují (na rozdíl od automobilu) hospodárně využít moderní zásobníky energie s vysokou životností.**

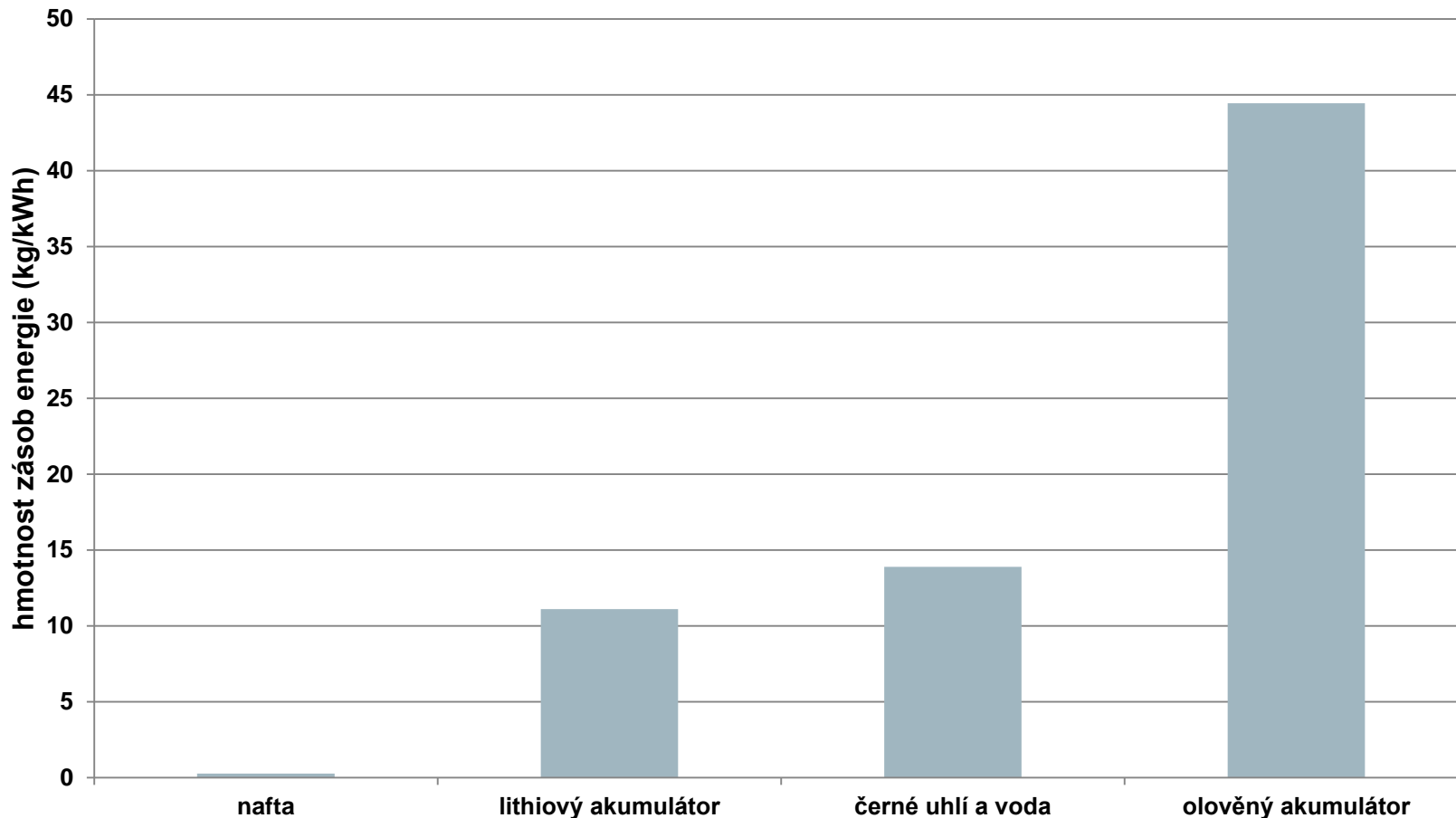
Pokrok v oblasti zásobníků energie: Lithiové akumulátory mají čtyřnásobně větší měrnou energii, než olověné

Měrná energie akumulátorů



Lithiové akumulátory již jsou lehčí, než zásoby uhlí a vody pro parní stroj

Hmotnost zásob (kg/kWh)



Nové pojetí polozávislých vozidel (BEMU)

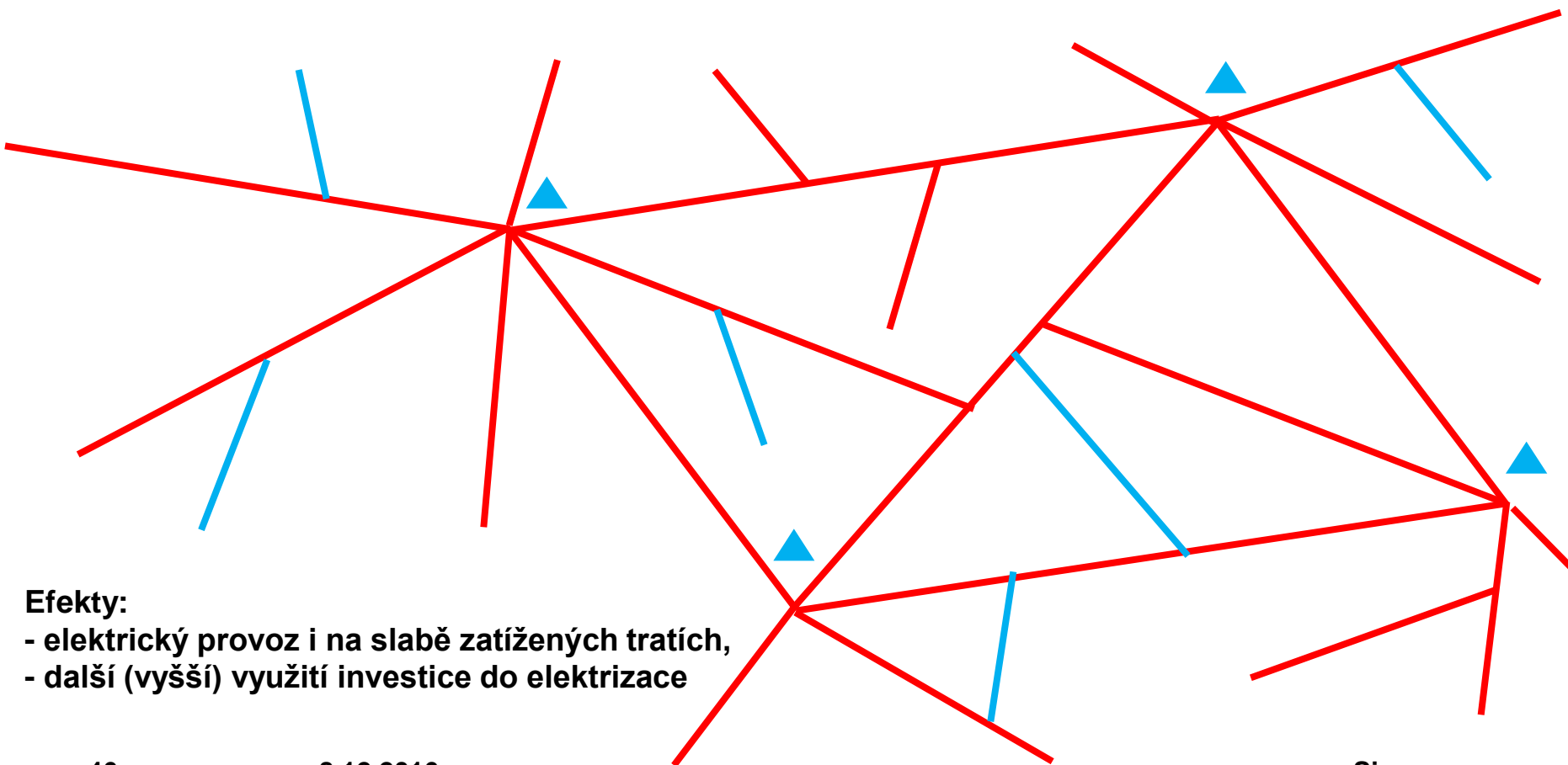
- moderní zásobník energie s vysokou měrnou energií (100 kWh/t),
- moderní zásobník energie s vysokým měrným výkonem (150 kW/t),
- moderní zásobník energie schopný rychlého nabíjení (2 hodiny),
- snížení spotřeby energie rekuperací brzdové energie,
- nabíjení z trakčního vedení přes sběrač (v klidu i za jízdy),
- nabíjení vícekrát denně => zásobník stačí dimenzovat na kratší provoz,
- na elektrizovaných tratích napájení pohonu z trakčního vedení.

=> hmotnost zásobníku cca 4 % celkové hmotnosti vozidla



Návaznost elektrifikovaných a neelektrifikovaných tratí

Pevná trakční zařízení elektrifikovaných tratí tvoří energetickou síť k nabíjení akumulátorů vozidel používaných na neelektrifikovaných tratích



Efekty:

- elektrický provoz i na slabě zatížených tratích,
- další (vyšší) využití investice do elektrizace

Náhrada autobusů se spalovacími motory elektrobusey

Rozhodujícím trendem městské hromadné dopravy je její orientace na elektrickou vozbu.

V 19 velkých městech v ČR, jejichž Dopravní podniky jsou členy SDP ČR zajišťuje povrchová elektrická vozba (tramvaje a trolejbusy) 66 % přepravní nabídky (v místových kilometrech).

Zbývajících 34 % přepravní nabídky však ještě zabezpečují autobusy (rok 2013):

| | | |
|--------------------------------|----------------|------------------|
| přepravní nabídka | 12 258 000 000 | místových km/rok |
| dopravní výkon | 147 000 000 | vozových km/rok |
| počet vozidel | 2 888 | vozů |
| spotřeba nafty | 66 000 000 | litrů/rok |
| spotřeba energie nafty | 660 000 000 | kWh/rok |
| náklady na naftu | 1 848 000 000 | Kč/rok |
| produkce CO ₂ | 166 000 000 | kg/rok |

Při současném stavu techniky je reálné nahradit v městské hromadné dopravě výkony autobusů se spalovacími motory elektrickými vozidly, a to zejména elektrobusey s průběžným nabíjením (statickými či dynamickým)

Aplikace elektrobusesů s průběžným nabíjením

- **Vysoká četnost zastávek (záměrných i nechtěných) vedou v městském linkovém provozu k významným úsporám rekuperačním brzděním. Akumulátor je využívána nejen pro uložení energie při nabíjení ze sítě, ale i k využití energie dosud mařené ztrátovým brzděním. Náklady na energii klesají ve srovnání s naftovým provozem zhruba na 1/3 (s topením) až 1/4 (bez topení),**
- **Velká část autobusových linek končí ve velkých městech na terminálech, které jsou přestupním bodem na metro či na tramvaj. V těsné blízkosti obratiště autobusu se tedy nachází systém elektrického napájení metra či tramvaje, který lze využít i pro napájení nabíjecích stanišť elektrobusesů (včetně zužitkování přebytků rekuperované energie).**



Doprava a energetika

Doprava i energetika jsou významnými strategickými síťovými hospodářskými odvětvími

Vzájemné propojení energetiky a dopravy má čtyři základní hlediska:

- bilanční

je potřeba pokrýt požadavky na energii pro dopravu,

- strukturní

je potřebné sladit strukturu forem dodávané a spotřebované energie,

- síťové

je potřebné zajistit rozvod a akumulaci jednotlivých forem energie,

- bezpečnostní

energetika i doprava tvoří oblasti kritické infrastruktury, které se musí navzájem zajišťovat.

Společné řešení dopravních a energetických otázek

1. téma: akumulace energie

Náhrada elektráren na uhlí bezemisními elektrárnami je logickou nutností:

- v zájmu odvrácení klimatických změn je potřebné snížit produkci CO₂,
- hnědouhelné revíry budou nevratně vyčerpány.

Avšak pro elektroenergetiku to znamená přechod od regulovatelných zdrojů k neregulovatelným zdrojům (jaderný reaktor) a k nepredikovatelným obnovitelným zdrojům (větrné a solární elektrárny). V systému budou scházet pružné zdroje.

Cena energie významně záleží na čase a místě.

Řešení časového souladu výroby a spotřeby je možné trojí:

- přizpůsobování okamžité spotřeby okamžité výrobě (chytré sítě – smart grids),
- budování zásobníků energie,
- budování pohotovostních elektráren s drahou, ale ihned dostupnou energií (spalovací turbíny)

Stacionární zásobníky energie

Tradiční forma zásobníků energie jsou gravitační přečerpávací vodní elektrárny
(Štěchovice, Čierný Váh, Dlouhé Stráně, ...)

1 m³ (1t) vody zdvižená do výšky 100 m má potenciální energii:

$$A = m \cdot g \cdot h / 3\,600\,000 = 1\,000 \cdot 9,81 \cdot 100 = 0,27 \text{ kWh}$$

Pro srovnání: v 1 t nafty je tepelná energie 12 000 kWh

=> gravitační přečerpávací vodní elektrárny jsou velmi prospěšným zařízením, ale jejich budování je velmi náročné investičně i z hlediska zásahu do přírody

PVE Dlouhé Stráně

| Přečerpávací Dlouhé Stráně | | |
|------------------------------|-------------------|---------------|
| výška | m | 511 |
| objem | m ³ | 2 580 000 |
| měrná hmotnost | t/m ³ | 1 |
| hmotnost | t | 2 580 000 |
| gravitační zrychlení | m/s ² | 9,81 |
| měrná potenciální energie | kWh/t | 1,39 |
| potenciální energie | kWh/t | 3 592 586 |
| průtok | m ³ /s | 137 |
| doba výtoku | h | 5,23 |
| příkon | kW | 686 769 |
| účinnost | % | 90 |
| výkon | kW | 618 092 |
| dodaná energie na jeden cykl | kWh | 3 233 327 |
| roční dodaná energie | kWh | 267 000 000 |
| počet cyklů ročně | 1/rok | 83 |
| rozdíl cen energie | Kč/kWh | 0,5 |
| výnos na jeden cykl | Kč | 1 616 663 |
| roční výnos | Kč/rok | 133 500 000 |
| investice | Kč | 6 500 000 000 |
| měrná investice na výkon | Kč/kW | 10 516 |
| měrná investice na energii | Kč/kWh | 2 010 |
| návratnost | roky | 49 |
| počet cyklů za životnost | | 4 021 |
| doba aktivace | s | 100 |

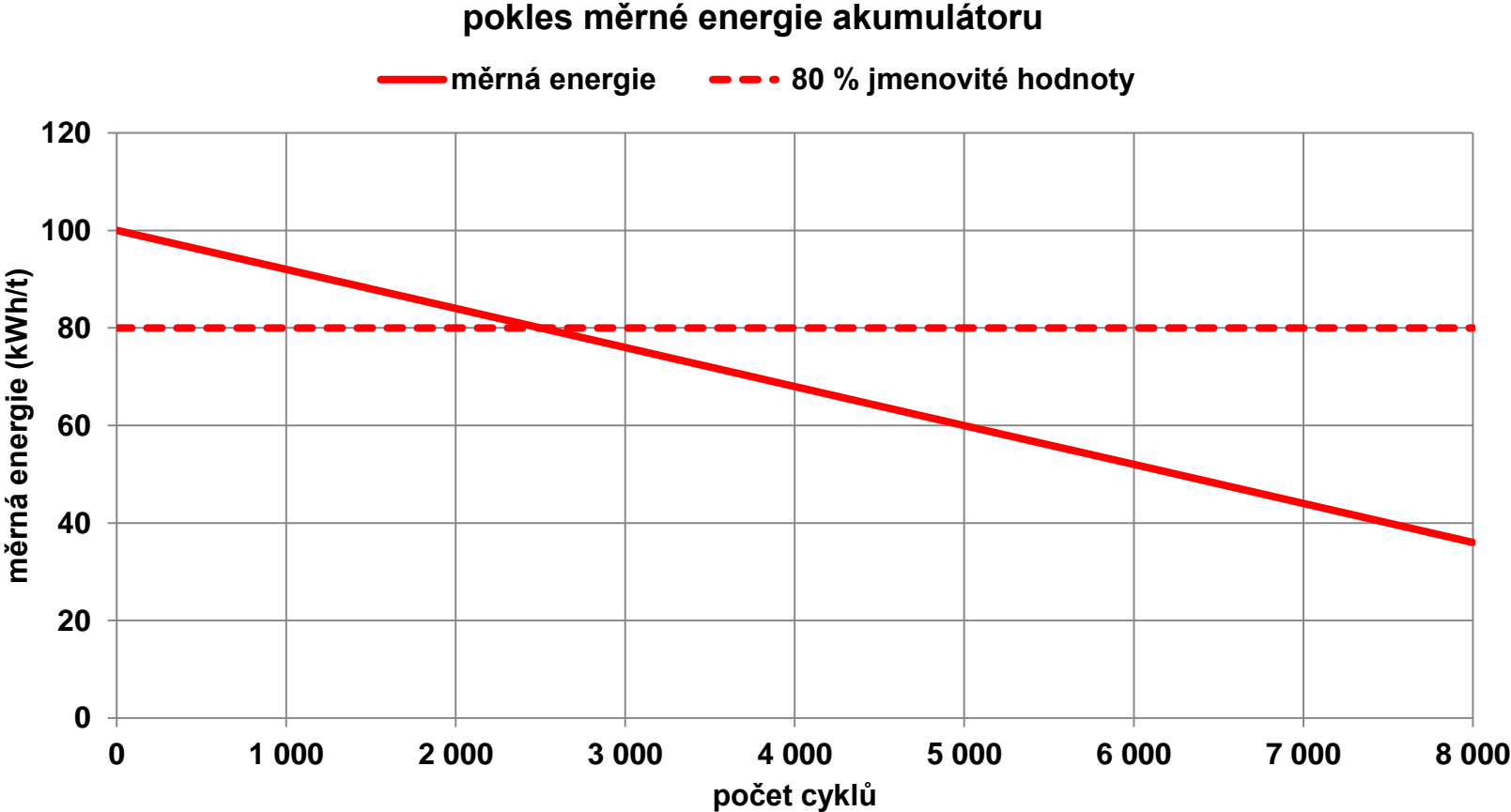
Práce koňů v tramvajové dopravě byla namáhavá.

Po pár letech tahání tramvají byl vybrakovaný kůň odprodán do lehčí služby.

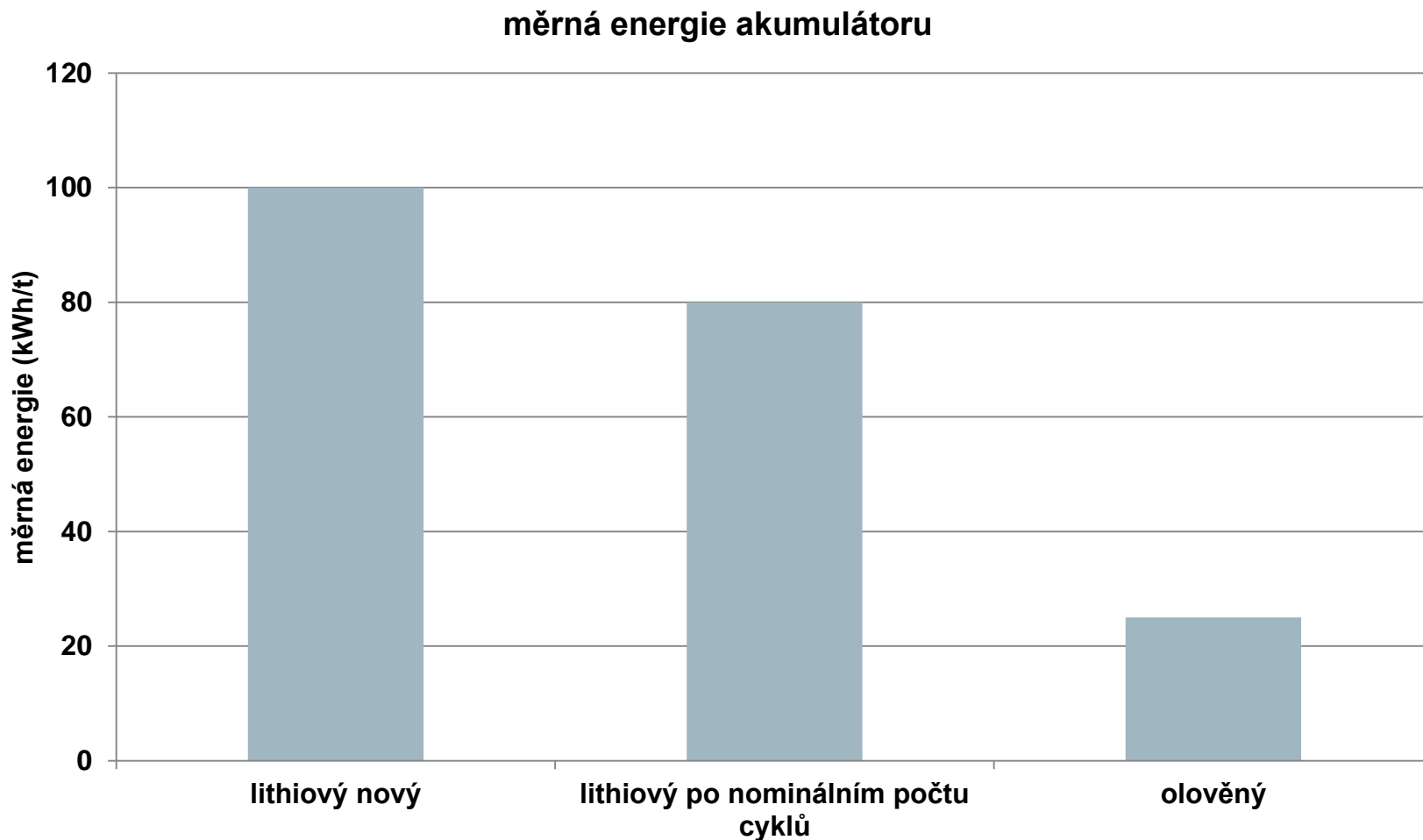
SIEMENS



Stárnutí lithiového akumulátoru je degradační.
Životnost akumulátoru je definována počtem cyklů do poklesu kapacity o 20 %.



Po vyčerpání životnosti z vozidel vyřazený lithiový akumulátor má stále ještě třikrát větší měrnou energii, než nový olověný akumulátor



Statický zásobník energie na bázi použitých (z vozidel již vyřazených) lithiových akumulátorů

| Lithiová Krátké Stráně - použité, energetický ekvivalent | | |
|--|--------|------------------|
| dodaná energie na jeden cykl | kWh | 3 233 327 |
| účinnost | % | 90 |
| disponibilní energie akumulátoru | kWh | 3 592 586 |
| hloubka vybíjení | % | 80 |
| jmenovitá energie akumulátoru | kWh | 4 490 732 |
| měrná cena akumulátoru | Kč/kWh | 1 000 |
| cena akumulátorů | Kč | 4 490 731 875 |
| měrná energie akumulátorů | kWh/t | 80 |
| hmotnost akumulátorů | t | 56 134 |
| teoretická doba vybíjení | h | 1,2 |
| výkon akumulátoru | kW | 3 742 277 |
| výstupní výkon | kW | 3 368 049 |
| podíl ceny akumulátorů na investici | % | 50 |
| investice | Kč | 8 981 463 750 |
| měrná investice na výkon | Kč/kW | 2 667 |
| měrná investice na energii | Kč/kWh | 2 778 |
| doba aktivace | s | 0,1 |

| Lithiová Krátké Stráně - použité, výkonový ekvivalent | | |
|---|--------|----------------|
| výkon | kW | 618 092 |
| účinnost | % | 90 |
| disponibilní výkon akumulátoru | kWh | 686 769 |
| teoretická doba vybíjení | h | 1,2 |
| jmenovitá energie akumulátoru | kWh | 824 122 |
| hloubka vybíjení | % | 80 |
| využitelná energie akumulátoru | kWh | 659 298 |
| výstupní energie | kWh | 593 368 |
| měrná cena akumulátoru | Kč/kWh | 1 000 |
| cena akumulátorů | Kč | 824 122 404 |
| měrná energie akumulátorů | kWh/t | 80 |
| hmotnost akumulátorů | t | 10 302 |
| podíl ceny akumulátorů na investici | % | 50 |
| investice | Kč | 1 648 244 808 |
| měrná investice na výkon | Kč/kW | 2 667 |
| měrná investice na energii | Kč/kWh | 2 778 |
| doba aktivace | s | 0,1 |

Statický zásobník energie na bázi použitých (z vozidel již vyřazených) lithiových akumulátorů

| Lithiová Krátké Stráně - použité, energetický ekvivalent elektrobus | | |
|---|-----|--------|
| energie akumulátoru 2 oseého busu | kWh | 200 |
| zbytková energie akumulátoru | kWh | 160 |
| potřebný počet autobusů 2 osých | | 28 067 |
| městských autobusů v ČR celkem | | 3 500 |
| poměrný počet 3 osých | % | 25 |
| ekvivalentní počet autobusů v ČR | | 3 938 |
| pokrytí potřeby | % | 14 |
| akumulátorové železniční vozidlo (BEMU) | | |
| energie akumulátoru BEMU | kWh | 800 |
| zbytková energie akumulátoru | kWh | 640 |
| potřebný počet BEMU | | 7 017 |
| potenciál počtu BEMU v ČR | | 500 |
| pokrytí potřeby | % | 7 |

| Lithiová Krátké Stráně - použité, výkonový ekvivalent elektrobus | | |
|--|-----|-------|
| energie akumulátoru 2 oseého busu | kWh | 200 |
| zbytková energie akumulátoru | kWh | 160 |
| potřebný počet autobusů 2 osých | | 5 151 |
| městských autobusů v ČR celkem | | 3 500 |
| poměrný počet 3 osých | % | 25 |
| ekvivalentní počet autobusů v ČR | | 3 938 |
| pokrytí potřeby | % | 76 |
| akumulátorové železniční vozidlo (BEMU) | | |
| energie akumulátoru BEMU | kWh | 800 |
| zbytková energie akumulátoru | kWh | 640 |
| potřebný počet BEMU | | 1 288 |
| potenciál počtu BEMU v ČR | | 500 |
| | % | 39 |

Společné řešení dopravních a energetických otázek

2. téma: doprava energie na místo poptávky

Přírodní bohatství obnovitelných zdrojů není po Evropě rovnoměrně rozloženo:

- největší větrný potenciál je na severozápadním mořském pobřeží,
- největší vodní potenciál je v oblasti Alp,
- největší sluneční potenciál je v jižních oblastech.

ČR nemá ani jednu z těchto tří výhod, je na obnovitelné zdroje poměrně chudé. Leží však na spojnici těchto tří oblastí s časově proměnnou výrobou elektrické energie a může své území nabídnout pro transfer elektrické energie mezi (momentální) výrobou a (momentální) spotřebou.

Aktivní účastí v přenosu elektrické energie (včetně práva na odběr její části) může ČR získat trvalý obnovitelný zdroj elektrické energie („elektrická energetická obchodní stezka“).

Současná elektrická energetická přenosová soustava ČR založená na 3 AC vedeních 400 kV však není na takové transfery (přetoky) elektrické energie dimenzována a logicky se jim brání.

Vysoce výkonná přenosová vedení (HV DC)

Vysoká proměnnost ceny elektrické energie v závislosti na zeměpisné poloze a na čase vede k budování energetických stejnosměrných elektrických vysokonapěťových přenosových vedení o napětí kolem milionu voltů (HV DC).

HV DC vedení jsou schopna přenášet výkony jednotek až desítek GW (JE Temelín: 2 GW) a tím zhodnocovat elektrickou energii jejím převedením z místa převisu nabídky (nízká cena) do místa převisu poptávky (vysoká cena).

Tato vedení jsou řešitelná jako vrchní (což je levnější), nebo jako uložená v zemi. V obou případech však jde o liniové stavby, které znamenají zásah do krajiny. Při současném stupni urbanizace území, ochrany přírody a vlastnických práv však není snadné řešit jejich průchodnost územím.

Evropský železniční systém

Jako alternativu za vysoce energeticky náročnou a na fosilních závislou automobilovou a leteckou dopravu buduje řady zemí světa včetně EU vysokorychlostní železnice.

Nařízení EU č. 1315/2013 definuje evropskou síť vysokorychlostních železnic.

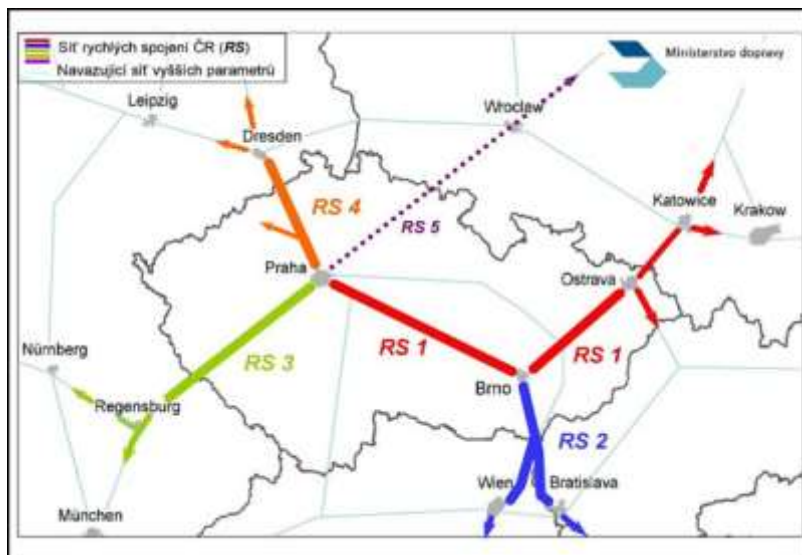
Tři z nich procházejí přes ČR a mají mezistátní i vnitrostátní dopravní význam:

- severozápad – jihovýchod (Berlin – Dresden - Ústí nad Labem – Praha – Brno – Wien /Bratislava),**
- severovýchod – jihozápad (Wroclav – Praha – Plzeň – München),**
- sever – jih (Warszawa – Ostrava – Brno – Wien / Bratislava).**

Aktuálně se v ČR připravuje k realizaci projekt vysokorychlostní železnice – Dresden - Ústí nad Labem – Praha – Brno - Břeclav

Bezemisní železnice Rychlá spojení

Postupné budování sítě vysokorychlostních železnic Rychlých spojení. Pilotní projekt Praha – Brno: 54 minut, 8 kWh/sedadlo (ekvivalent 0,8 litru nafty)



| dopravní mod | energetická náročnost | přepravní výkon | spotřeba energie | fos. paliv. náročnost | spotřeba fos. paliv | uhlíková stopa | produkce CO ₂ |
|--------------|-----------------------|-----------------|------------------|-----------------------|---------------------|----------------|--------------------------|
| | kWh/os. km | mil. os.km/rok | GWh/rok | kWh/os. km | GWh/rok | kg/os. km | tis. t/rok |
| silnice | 0,570 | 4 000 | 2 280 | 0,52 | 2 099 | 0,14 | 565 |
| železnice | 0,076 | 4 000 | 303 | 0,09 | 344 | 0,03 | 134 |
| úspora | 0,494 | | 1 977 | 0,44 | 1 755 | 0,11 | 430 |

Využití společných koridorů

Po létech obecných úvah již mají vysokorychlostní železnice velice konkrétní podobu. Na úrovni ČR, sousedních států i EU je připravována jejich realizace. Příslušné trasy včetně ochranných pásem jsou chráněny v Zásadách územního rozvoje, aktuálně probíhá jejich upřesňování.

Trasy některých budoucích vysokorychlostních železnic (zejména severozápad – jihovýchod) leží v osách potřebných energetických toků.

Je vhodný (a zároveň nejvyšší) čas prověřit, zda je smysluplné využít společný průchod územím a současně s vysokorychlostní železnicí budovat na území ČR jako evropský projekt i HV DC elektrická přenosová vedení.

Společné dopravní a energetické linky

Nařízení EU č. 1316/2013 hovoří nejen o evropských dopravních spojnicích, ale i o energetických spojnicích.

Evropa potřebuje vybudovat:

- rychlá dopravní spojení (vysokorychlostní železnice),**
- vysoce výkonná elektrická vedení HV DC propojující plošně nerovnoměrně rozmístěné obnovitelné zdroje elektrické energie (větrné, solární, vodní, ...).**

Budování liniových staveb (vysokorychlostních železnic i vysokonapěťových HV DC elektrických vedení) potřebuje šetrně řešit průchod územím.

Česká republika má strategickou polohu v trase přepravních i energetických toků mezi severozápadu na jihovýchod Evropy.

V koridorech se souběhem dopravních a energetických tras se jeví technicky i ekonomicky výhodné budovat vysokorychlostní elektrické železnice společně s HV DC elektrickými přenosovými linkami (velká přidaná hodnota pro EU i ČR).

Společné řešení dopravních a energetických otázek

3. téma: Zimní balíček - zvýšení energetické účinnosti

V říjnu 2014 určil Evropský energetický summit (viz dokument SN 79/14) strategii energetických změn v EU do roku 2030:

- snížení produkce CO₂ o 40 %,
- zvýšení podílu obnovitelných zdrojů na 27 %,
- zvýšení energetické účinnosti (snížení konečné spotřeby energie) o 27 % (indikativní cíl).

V průběhu roku 2016 dospěla EU k závěru, že k omezení klimatických změn ve smyslu dohody z Paříže bude nutno třetí cíl přitvrdit. Dne 30.11.2016 zveřejnila EU „Zimní energetický balíček“ ve kterém mění hodnotu zvýšení energetické účinnosti ze 27 % na 30 %, a tento cíl definuje jako povinný.

Zvýšení energetické účinnosti o další 3 % znamená pro ČR (konečná spotřeba energie v roce 2015 činila 318 miliard kWh/rok) uspořit dalších 9,5 miliardy kWh/ročně.

Jeho řešení na straně energetiky by bylo velmi náročné, podle výpočtů analytiků ČEZ by znamenalo investici 500 miliard Kč.

Úspory však lze hledat i na straně spotřeby. Je rozumné, aby země, závislá na dovozu fosilních paliv (ropa, zemní plyn), a nepříliš bohatá na obnovitelné zdroje, šla cestou snižování své energetické náročnosti.

Nemá smysl obhajovat technologie minulosti. Je nutností se orientovat se na technologie budoucnosti.

Zvýšení energetické účinnosti

Úkol vyplývající ze Zimního balíčku snížit v ČR do roku 2030 konečnou spotřebu energie o další 3 %, tedy o dalších 9,5 miliard kWh/rok, lze naplnit v dopravě.

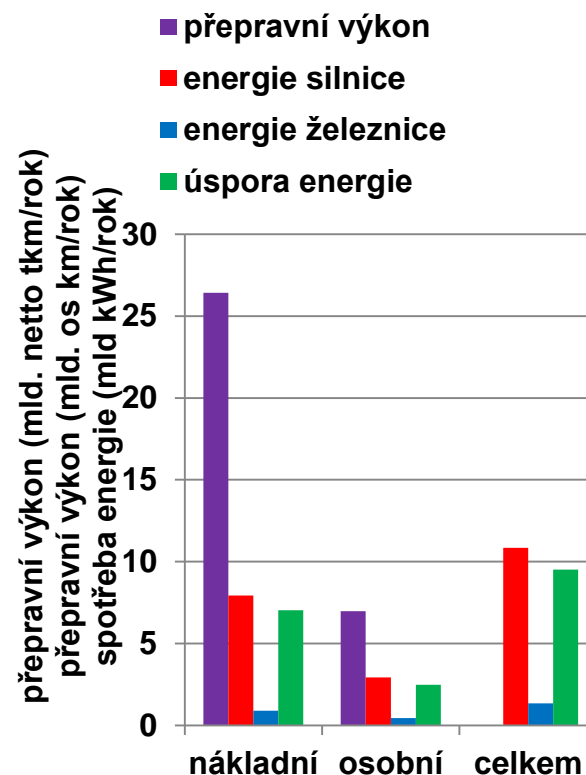
Vláda ČR přijala již v prosinci 2015 usnesení č. 968/2015 Národní akční plán snižování emisí, které ukládá převést do roku 2030 ze silnic na železnice 30 % nákladní dopravy (podobně jako dokument EU KOM (2011) 144).

Ačkoliv je primárním cílem tohoto kroku ochrana životního prostředí, přináší zároveň i nemalou úsporu energie a to pokles konečné spotřeby energie o 4,7 miliard kWh/rok.

K naplnění cíle zajistit úsporami v dopravě do roku 2030 pokles konečné spotřeby energie ČR o 9,5 miliard kWh je potřebné:

- převést ze silnice na železnici nikoliv 30 %, ale 45 % nákladní dopravy, což přinese úsporu 7 miliard kWh/rok,
- převést ze silnice na železnici 10 % osobní dopravy, což přinese úsporu 2,5 miliard kWh/rok.

efekt převodu dopravy ze silnice na železnici



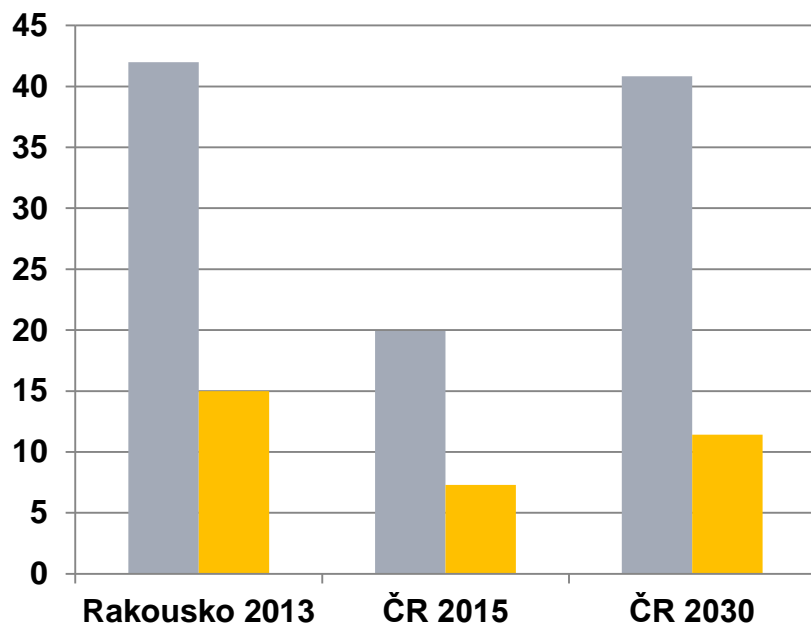
Zvýšení energetické účinnosti

Uvedené přesuny dopravy ze silnice na železnici znamenají zvýšit v rozmezí let 2015 až 2030 podíl železnice (v elektrické vozbě) na přepravních výkonech osobní dopravy ze 7 % na 11 % a u nákladní dopravy ze 20 % na 41 %.

Toto zvýšení je reálné. V sousedním Rakousku již v současnosti dosahují vyšších hodnot. Avšak je potřeba přejít do rozvojového tempa.

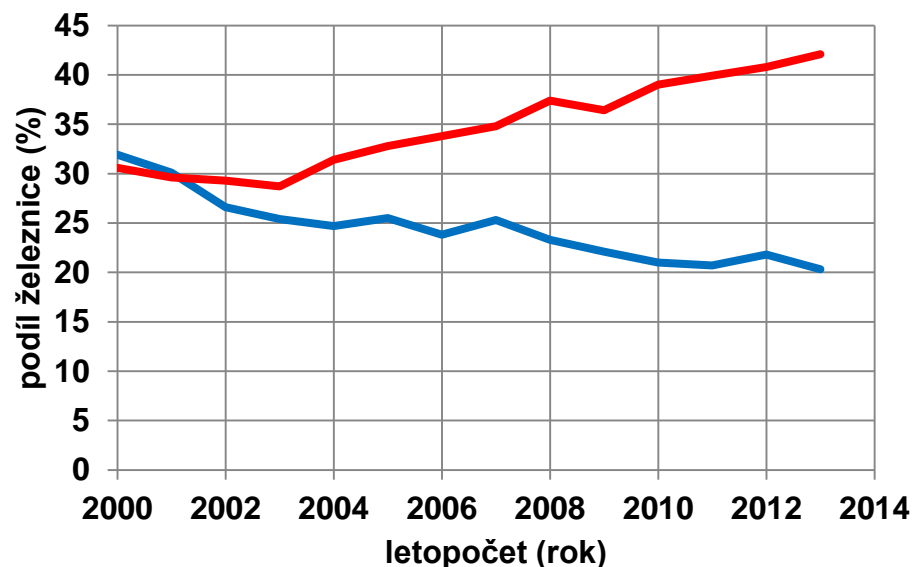
podíl na přepravních výkonech (%)

■ železnice nákladní ■ železnice osobní



modální podíl železnice na přepravních výkonech nákladní dopravy

— CZ — AT



Děkuji Vám za Vaši pozornost!