

**SIEMENS**

Zasedání  
OS Tramvaje  
SDP ČR

Ing. Jiří Pohl / Liberec 18.4.2013

# Státní energetická koncepce ČR a doprava

## Vývoj osídlení

Osídlení krajiny bylo po tisíciletí určeno zemědělstvím – lidé žili tam, kde mohli pěstovat rostliny a zvířata. Tedy na vesnicích.

Před několika desetiletími nastal zvrát – lidé se stěhují z venkova do měst. Celosvětově již více než 50 %, v mnoha evropských zemích již více než 70 % lidí žije ve městech.

### **Opouštění venkova má dvě dimenze:**

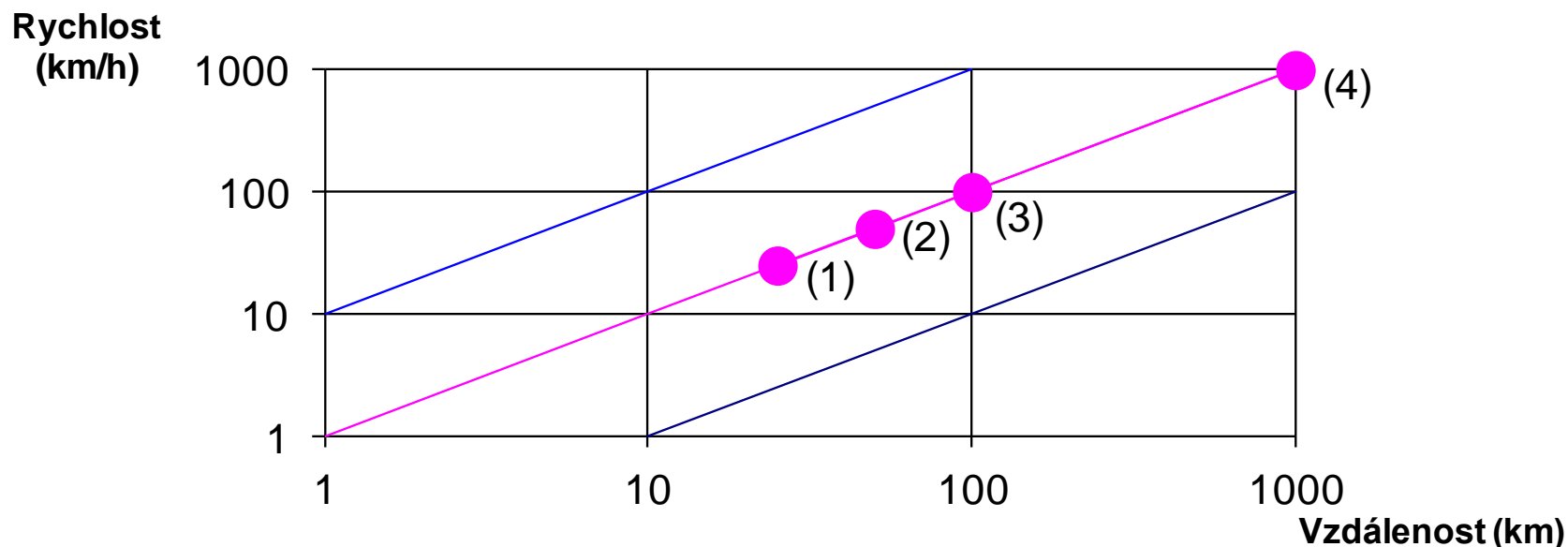
- a) kvantitativní – technizace a chemizace zemědělství snížila potřebu pracovních sil v tomto oboru (a tedy na venkově) na několik procent původního počtu,
- b) kvalitativní – vysokoškolsky vzdělaní lidé opouštějí venkov, neboť tam pro svojí kvalifikaci nenacházejí uplatnění.

## Mobilita

Vysoká koncentrace obyvatelstva ve městech vyvolává poptávku po přepravě a tedy i dopravě:

- městské,
- příměstské,
- meziměstské.

## Mobilita společnosti (nevnímání prostoru)



Člověk je ochoten denně cestovat tam a zpět zhruba 2 x 1 hodinu

cca 25 km po městě (IAD, MHD)  $v = 25 \text{ km/h}$  (1)

cca 50 km v rámci regionu (vlak, autobus)  $v = 50 \text{ km/h}$  (2)

cca 100 km mezi dvěma městy (vlak, IAD)  $v = 100 \text{ km/h}$  (3)

cca 900 km po Evropě (letadlo)  $v = 900 \text{ km/h}$  (4)

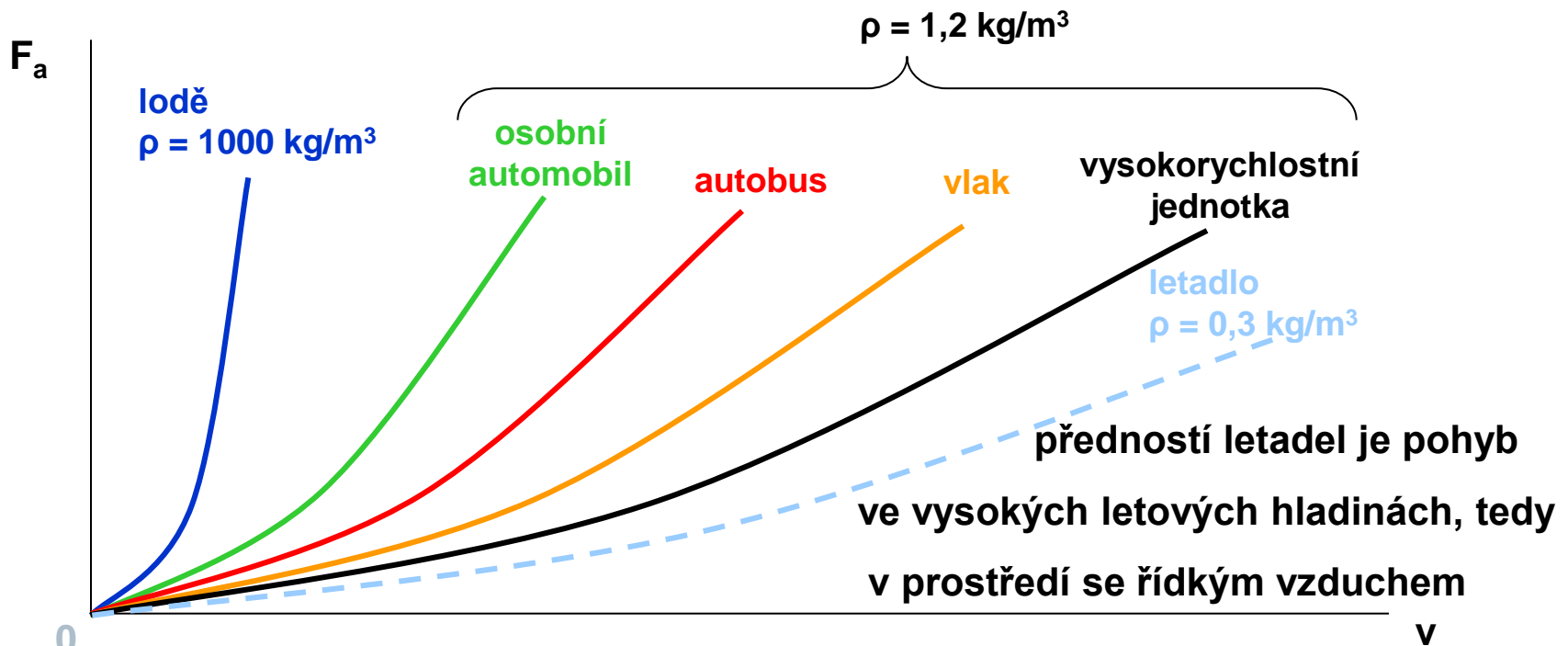
⇒ vzdálenostem přizpůsobujeme rychlost přepravy.

## Energetická náročnost rychlého pohybu

Spotřeba energie k překonání odporu prostředí je úměrná druhé mocnině rychlosti:

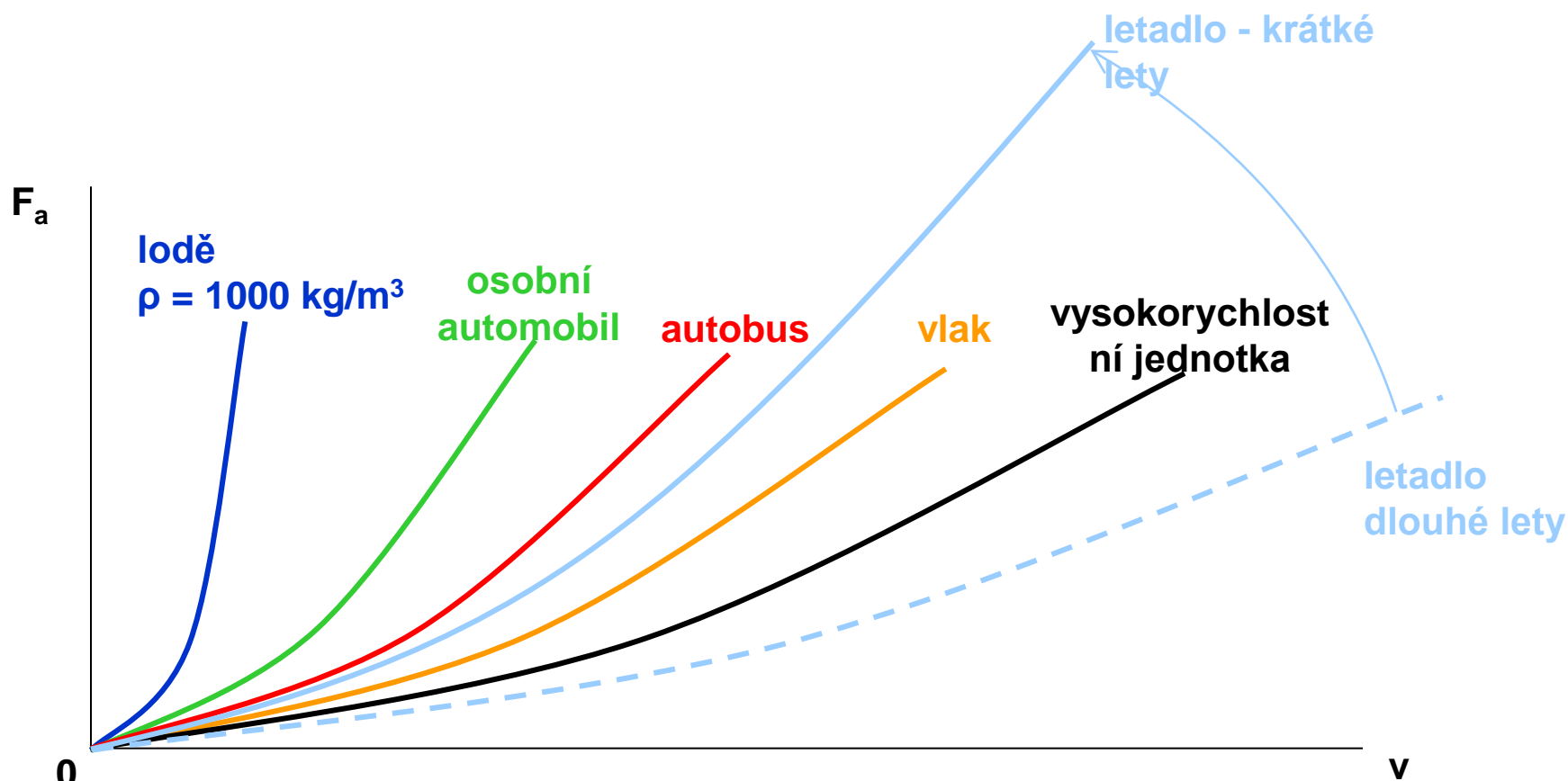
$$\left( F_a = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_x \cdot S \cdot v^2 \right)$$

Dalším důležitým faktorem je specifická hmotnost prostředí:



## Letecká doprava na krátké vzdálenosti

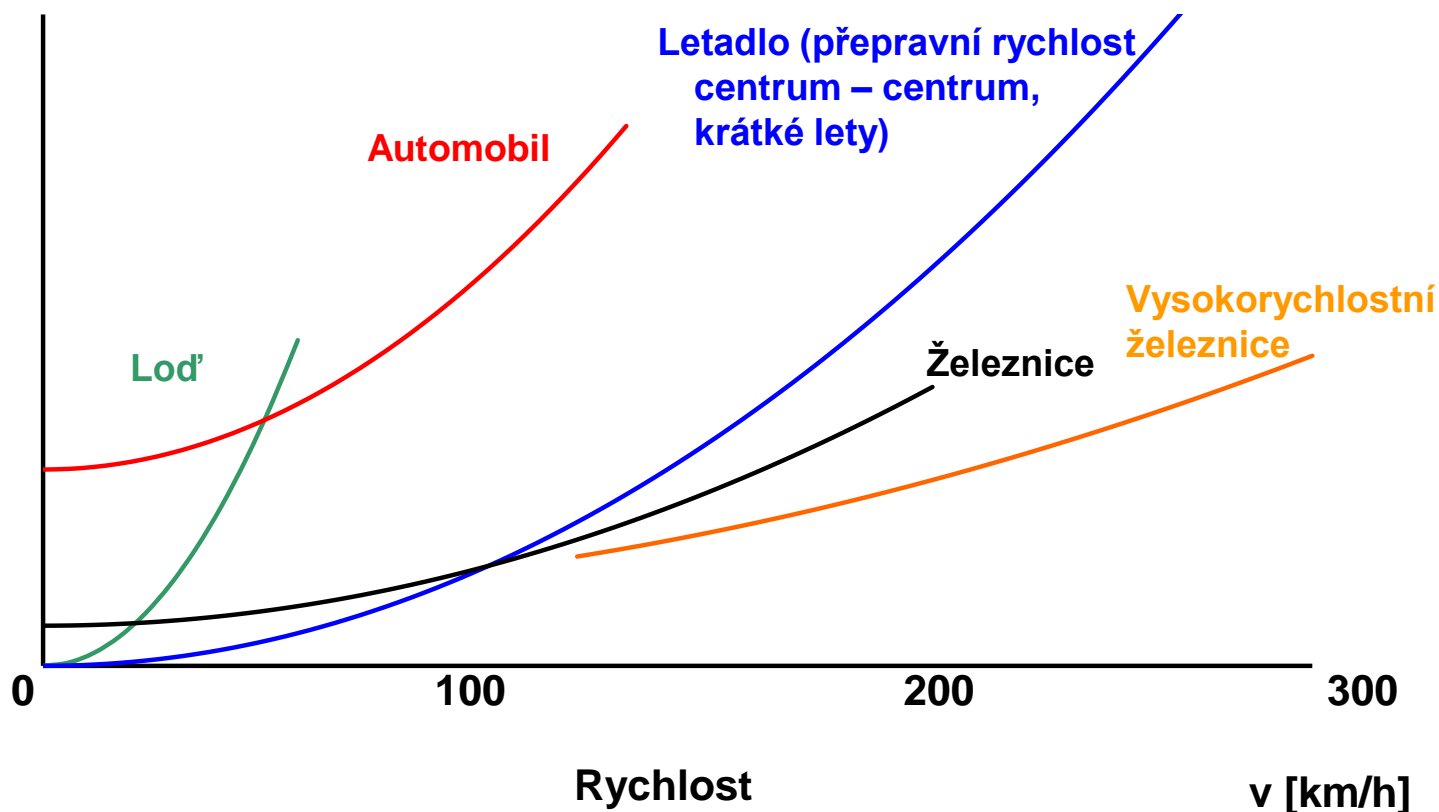
Lety na krátké vzdálenosti: výsledná cestovní rychlost je na úrovni pozemních dopravních prostředků, ale spotřeba paliva je úměrná rychlosti letu (900 km/h)



# Vlivem odporu prostředí roste energetická náročnost mobility s rychlostí dopravy

$\left[ \frac{\text{kWh}}{\text{místo km}} \right]$

Měrná spotřeba energie

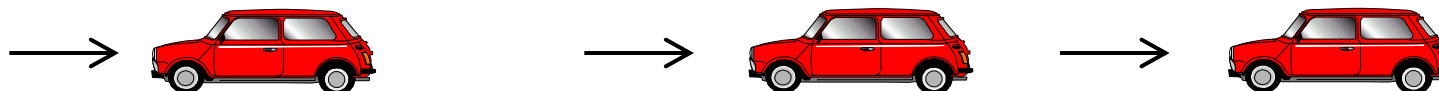


$$e = \frac{k \cdot g \cdot d + c v^2}{\eta \cdot 3,6} \cdot m_1$$

## Systemové nevýhody automobilové dopravy

Automobilová doprava, která zajišťuje dominantní podíl přepravních výkonů (v ČR 63 %), je vysoká energeticky náročná. To je dáno jejími dvěma systémovými nevýhodami:

- Vysoký valivý odpor pneumatik po vozovce (8 ‰ proti 1 ‰ u kolejové dopravy), který je průvodním jevem potřebné stability pneumatik.
- Vysoký aerodynamický odpor (na rozdíl od železnice není využívána jízda vozidel v zákrytu). Význam této nevýhody se zvyšuje s rostoucí rychlostí jízdy.





## Závislost dopravy na kapalných uhlovodíkových palivech

Současná mobilita lidské společnosti je silně závislá na kapalných uhlovodíkových palivech – na ropě.

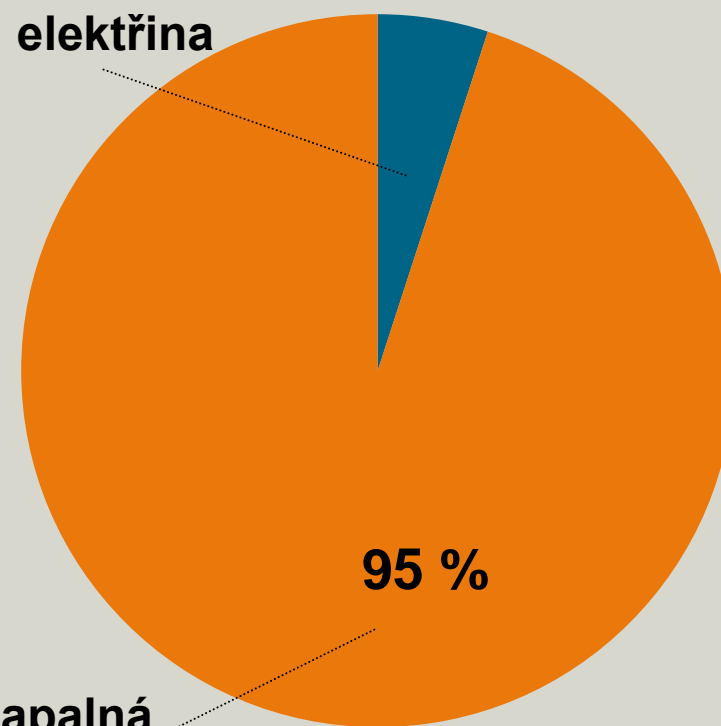
Kapalná uhlovodíková paliva zajišťují celosvětově energii pro 95 % dopravních výkonů a spotřebují k tomu 58 % těžby ropy.

### Podíl fosilních paliv v energii pro dopravu:

svět	... 95 %
EU	... 96 %
ČR	... 97 %

### Struktura zdrojů energie pro dopravu

elektřina

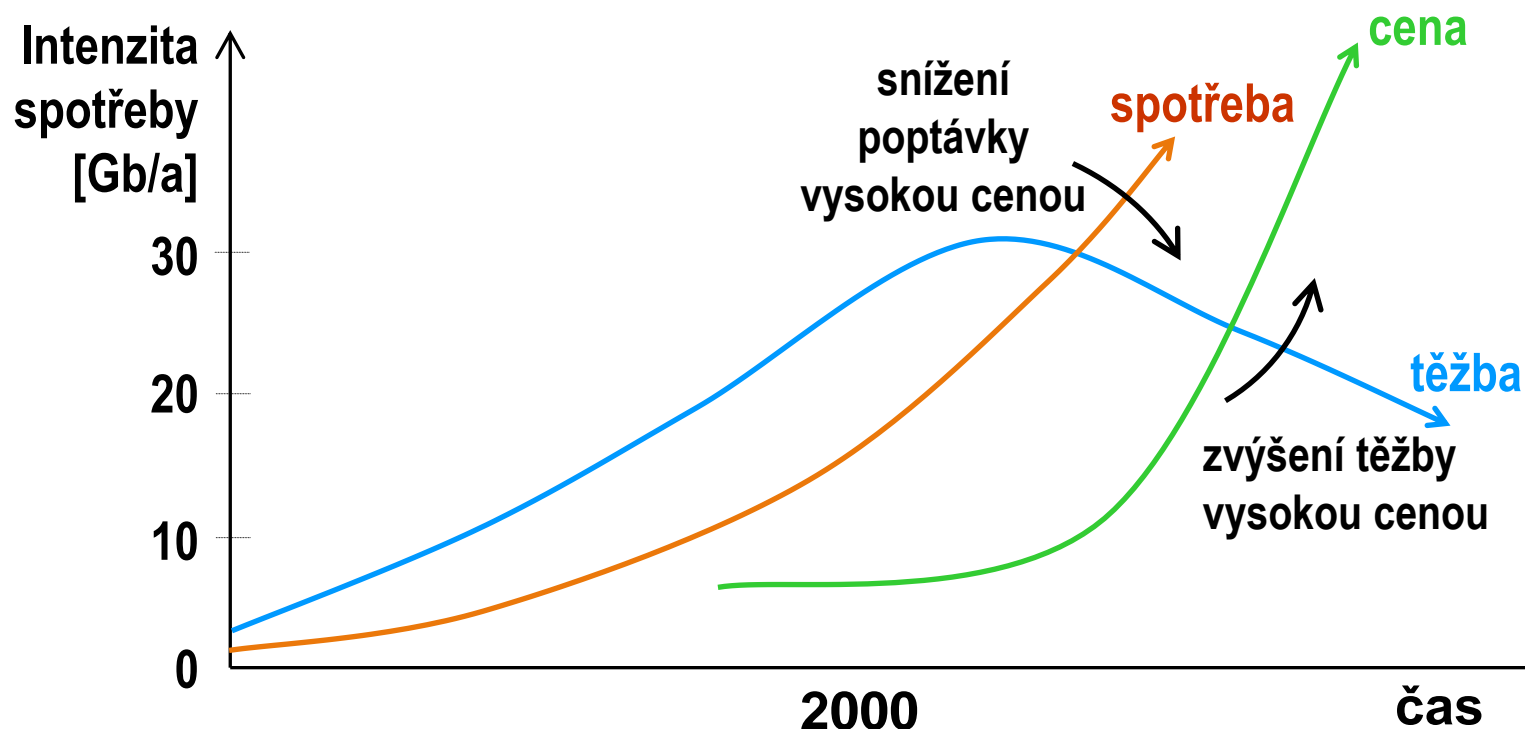


kapalná uhlovodíková paliva

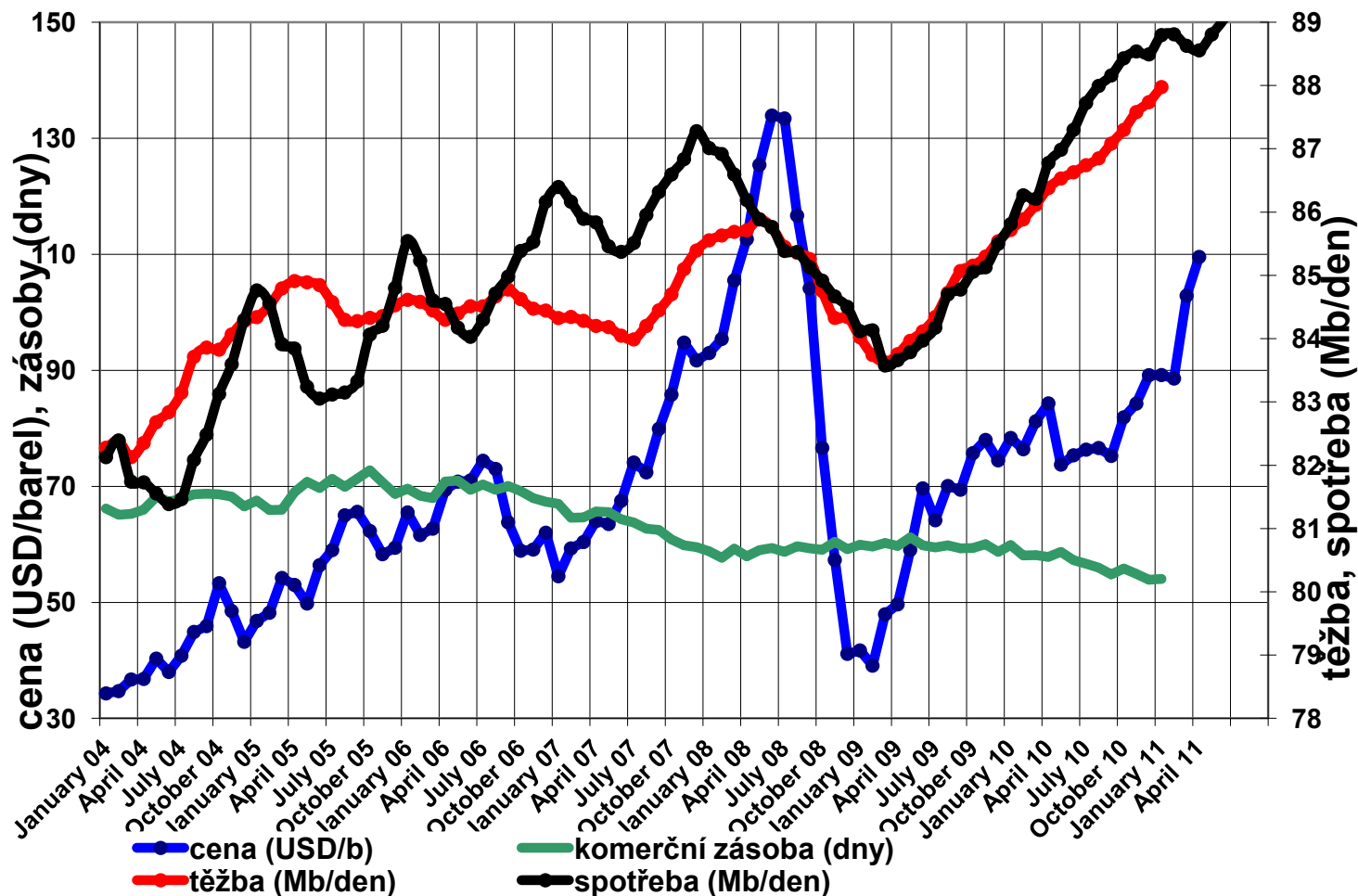
## Geologické a ekonomické zákonitosti

Intenzita těžby ropy má své geologické zákonitosti, nelze ji jednoduše zvýšit, ropa natéká do vrtů svým tempem.

Rovnováhu mezi těžbou a spotřebou ropy udržuje její tržní cena.



# Fungování trhu



- V letech 2007 a 2008 byla spotřeba ropy asi o 2% vyšší než těžba, rozdíl byl pokryt poklesem stavu komerčních zásob.
- Trh reagoval na zhruba 2% deficit mezi spotřebou a těžbou zvýšením ceny ropy na 200%.
- Eskalaci cen ropy zastavila až světová hospodářská krize a s ní související pokles poptávky.
- Problém však nebyl vyřešen, jen odsunut. Spotřeba ropy znovu roste a s ní i její cena.

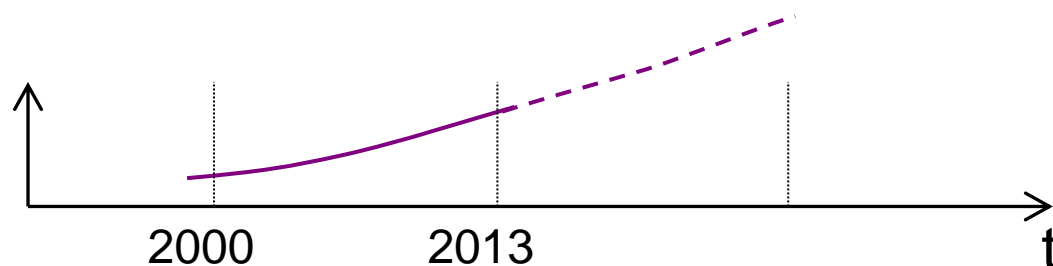
## Přírodní ropa

1 barel (159 litrů) ropy:

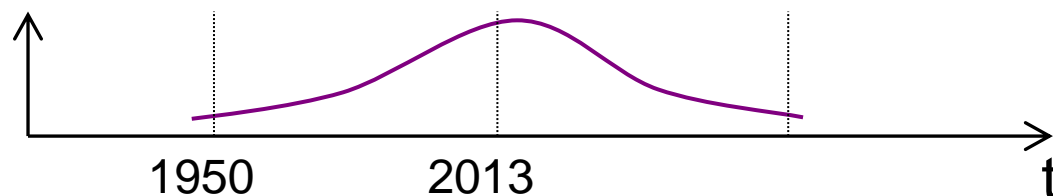
náklady na těžbu	10 USD
prodejní cena (2013)	120 USD

### Úhel pohledu na těžbu ropy:

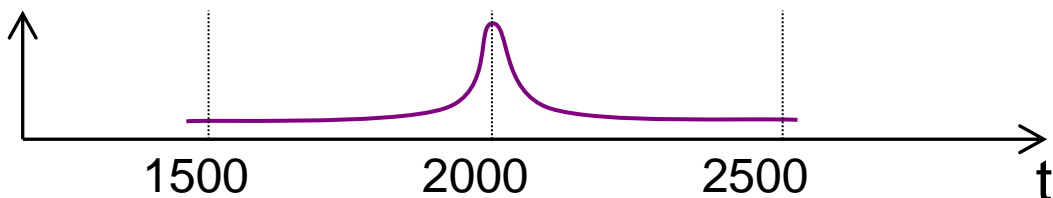
- očima ekonomů



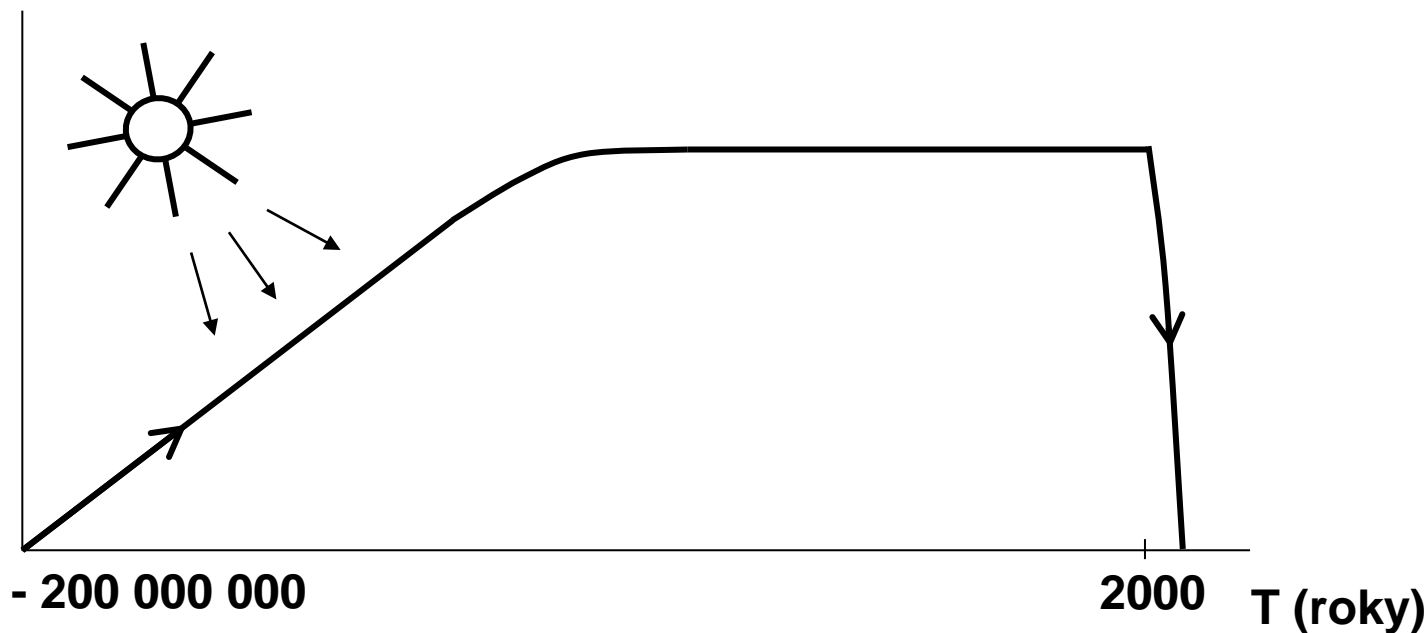
- očima geologa  
(Hubert, 1955)



- očima historika



## Fosilní paliva



Fosilní paliva jsou v podstatě energetickou konzervou.

Ropa vznikala zhruba 200 milionů let biologickou transformací energie slunečního záření a nyní bude zhruba v proběhu dvou století nenávratně spotřebována

## Fosilní paliva

### Fosilní uhlovodíková paliva se v přírodě vyskytují ve třech skupenstvích:

- pevné (uhlí),
- kapalné (ropa),
- plynné (zemní plyn).

### Společné znaky:

- omezené zdroje, neopakovatelně spotřebovávané – jen jednou v dějinách lidstva,
- teritoriálně nerovnoměrně rozložené (dovozní náročnost),
- cena řízena trhem (nabídka – poptávka, respektive těžba - spotřeba),
- při spalování vznikají exhalace,
- přeměna na mechanickou práci či elektrickou energii se děje s účinností 30 až 40 %, tedy 60 až 70 % se změní ve ztrátové teplo.

## Alternativní paliva

### Stlačený zemní plyn

- Zemní plyn je směsí plynných uhlovodíků, obsahuje zejména metan.
- Metan ( $\text{CH}_4$ ) obsahuje relativně velký podíl vodíku, proto při spalování produkuje o 24 % méně  $\text{CO}_2$ , než nafta,

#### Ale:

- zemní plyn má vysokou zápalnou teplotu, proto není možno jej použít jako palivo pro vznětový (Dieselův) spalovací motor – kompresním teplem se nevznítí,
- pro spalování zemního plynu je nutno použít zážehový (Ottův) spalovací motor, avšak ten má nižší účinnost a tedy cca o 8 % vyšší spotřebu paliva,
- nádrže na stlačený zemní plyn (přetlak 20 MPa) zvyšují hmotnost vozidla o cca 10 %.

## Alternativní paliva

### Stlačený zemní plyn

Výsledek náhrady spalování nafty ve vznětovém motoru spalováním zemního plynu v zážehovém motoru:

- produkce CO<sub>2</sub> je snížena jen o 11 % (cíl EU: - 70 %),
- zvýšení spotřeby energie pro pohon vozidla o 16 %.

Avšak levnější palivo, což je dáno:

- z menší části nižší tržní cenou plynu vůči ropě,
- z větší části nezatížením zemního plynu spotřební daní z minerálních olejů (u nafty 11 Kč/litr) – vozidla poháněná zemním plynem nepřispívají na údržbu a rozvoj dopravní infrastruktury (jezdí po komunikacích financovaných vozidly využívajícími zdaněná kapalná paliva).

**Tudy cesta nevede!**



# Alternativní paliva

## Břidlicový plyn

Princip těžby frakováním/frakturováním:

Do vrtu vedeného v břidlici hluboko v podzemí se natlačí voda s pískem. Tím dojde k uvolnění malých částic v břidlici uzavřeného plynu.

- nevýhoda: voda vyplavuje z břidlice soli, čistá voda se mění v „mořskou“,
- výhoda: další těžba navíc – konkurenční tlak na snížení ceny zemního plynu z tradičních ložisek.

Musí ČR těžit břidlicový plyn?

- Ne, stačí že jej těží USA a tím snížily světové ceny plynu.
- Chytrá idea amerických ekonomů: i za cenu vyšších nákladů na těžbu se podařilo vyvolat na trhu převis nabídky nad poptávkou a tím snížit tržní cenu zemního plynu (snížit zisk těžebních společností z obyčejných vrtů).
- Rada pro spotřebitele: neumím-li snížit spotřebu, tak musím zahájit těžbu.
- Avšak opět jde o jednorázovou příležitost, o neobnovitelný zdroj.

**Tudy cesta nevede!**

## Alternativní paliva

### Bionafta – metylester řepkového oleje

- na 1 ha pole dopadne za rok zhruba 10 000 000 kWh slunečního záření,
- z 1 ha pole lze ročně sklídit 3,5 t řepky a z ní vyrobit (po odečtení vlastní spotřeby) 800 dm<sup>3</sup> bionafty s tepelným obsahem 8 000 kWh – tedy 0,8 kWh/m<sup>2</sup>, výsledná účinnost je 0,08%, (fotovoltaika má 18 %),
- v ČR připadá na 1 obyvatele spotřeba cca 6,5 barelů ropy ročně, tedy ČR celkem spotřebuje cca 10 000 000 000 dm<sup>3</sup> ropy ročně,
- k úplné náhradě ropy řepkou by bylo potřeba v ČR pěstovat řepku na ploše 12 500 000 ha, v ČR je k dispozici jen 3 000 000 ha orné půdy, k pěstování řepky je potřeba čtyřikrát více,
- řepka pole velmi vysiluje, znovu ji lze též pole oset až po několika letech,
- podmínkou současných vysokých výnosů řepky je aplikace fosforečných hnojiv, vyráběných z limitovaných (neobnovitelných) zdrojů surovin,
- využívání zemědělských plodin k výrobě paliv vede k propojení cen potravin s cenami pohonných hmot, což má neblahé sociální dopady.

**Tudy cesta nevede!**

# Alternativní paliva

## Bionafta – metylester řepkového oleje

Vodík je výborným nositelem energie a lze jej využít:

- k přímé výrobě elektrické energie v palivových člancích,
- jako palivo pro spalovací motory.

Vodík se však v přírodě volně nenalézá, ale je vyráběn:

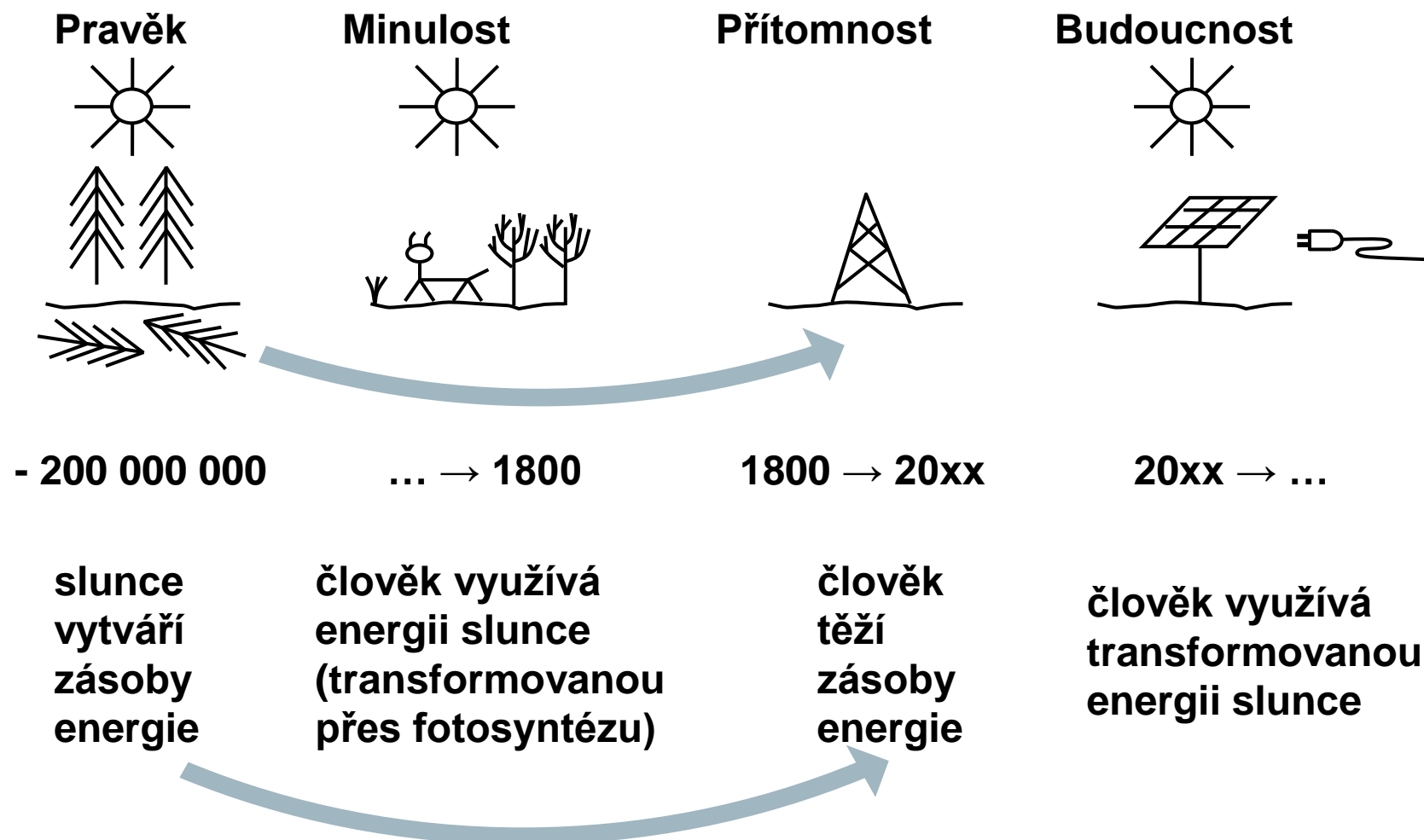
- a) chemickou cestou z uhlovodíkových paliv,
- b) elektrolýzou z elektřiny.

V zásadě tedy nejde o primární, ale o sekundární (přeměněný) zdroj energie.

Proces složený z výroby vodíku elektrolýzou a z jeho využitím v palivových člancích představuje akumulátor elektrické energie s otevřeným cyklem (velmi drahý a s nízkou účinností).

**Tudy cesta nevede!**

# Návrat k přírodě



## Elektrický versus naftový pohon

Elektrická vozba (účinnost v rozsahu vstup trakční napájecí stanice – obvod kol  $\eta = 70 \%$ ), starší vozidlo (bez rekuperace):

- na 1 kWh trakční práce je nutno odebrat cca  $1 / 0,7 = 1,4$  kWh z distribuční sítě

Elektrická vozba, moderní vozidlo s rekuperací brzdové energie (úspora 35 %):

- na 1 kWh trakční práce je nutno odebrat cca  $1,4 \cdot (1 - 0,35) = 0,9$  kWh z distribuční sítě

Motorová vozba (nafta 10 kWh/litr, účinnost v rozsahu nafta – obvod kol  $\eta = 30 \%$ ):

- na 1 kWh trakční práce je nutno spálit cca 0,33 litru motorové nafty o tepelném obsahu 3,3 kWh

## Náklady na energii

Při současné cenové úrovni (2,50 Kč/kWh el. energie, 30 Kč/dm<sup>3</sup> nafty bez DPH) je energie pro provoz zastávkových vozidel na naftu zhruba čtyřikrát dražší, než vozidel na elektrickou energii.

**Příklad:** zastávkové vozidlo (20 t, 0,1 kWh/tkm, tedy  $20 \cdot 0,1 = 2$  kWh/km):

elektrické napájení:

$$E = 0,9 \cdot 2 = 1,8 \text{ kWh elektrické energie za } 1,8 \cdot 2,5 = 4,5 \text{ Kč/km}$$

motorová nafta:

$$B = 0,33 \cdot 2 = 0,67 \text{ dm}^3 \text{ motorové nafty za } 0,67 \cdot 30 = 20 \text{ Kč/km}$$

=> rozdíl:

$$\Delta = 20 \text{ Kč/km} - 4,5 \text{ Kč/km} = 15,50 \text{ Kč/km}$$

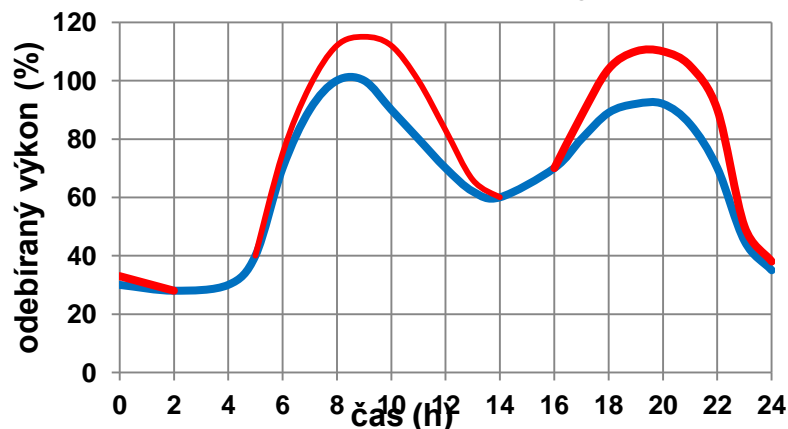
## Náhrada kapalných uhlovodíkových paliv elektřinou

- V České republice se ročně spotřebuje zhruba 6 600 000 000 dm<sup>3</sup> kapalných uhlovodíkových paliv o výhřevnosti 10 kWh/dm<sup>3</sup>.
- Při uvažování 35 % účinnosti pohonu spalovacím motorem a 70 % účinnosti elektrické trakce lze tato paliva nahradit 33 000 000 000 kWh, tedy 33 TWh elektrické energie.
- Ročně je v ČR vyráběno zhruba 86 TWh elektrické energie, a spotřebuje se 71 TWh elektrické energie (15 TWh je exportováno). Náhrada kapalných paliv elektrickou trakcí znamená nárůst spotřeby elektrické energie o 46 % což je hodně, ale není to nereálné.
- K výrobě 33 TWh postačují při rovnoměrném odběru nové elektrárny o výkonu 4 GW (současný instalovaný výkon elektráren v ČR je zhruba 20 GW a jsou schopny vyrobit 175 TWh, v průměru jsou vytíženy na 50 %).
- Při orientaci na polozávislou vozbu lze dobu nabíjení zásobníků energie na vozidlech situovat do období nízkého odebíraného výkonu (do energetických sedel).

**Přechod na elektrickou trakci je reálnou cestou k zajištění mobility.**

# Chytré sítě

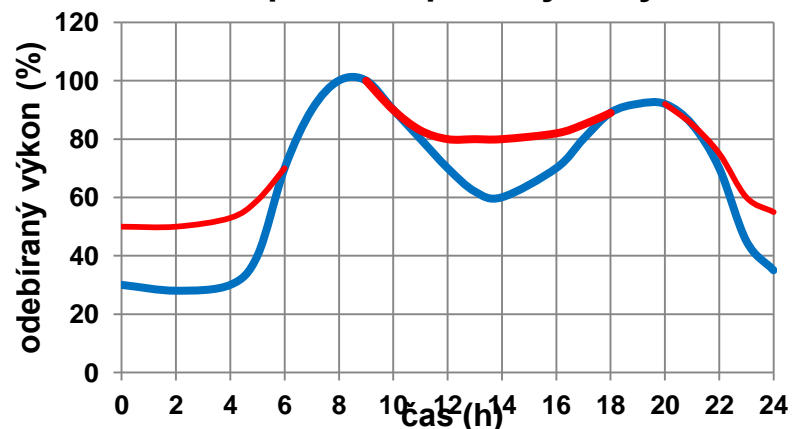
denní průběh spotřeby - standard



## Tradiční řešení

Elektromobily jsou nabíjeny ihned po skončení jízdy (do práce a z práce), tedy zvyšují zatížení energetické sítě v době špiček.

denní průběh spotřeby - chytrá síť



## Moderní řešení

Elektromobily jsou nabíjeny až v době sedla, tedy vyrovnávají zatížení energetické sítě v době sedla.

**Alternativa:** využití kapacity baterií zaparkovaných elektromobilů k podpoře sítě (analogicky jako přečerpávací vodní elektrárny)



## Meze použitelnosti elektromobilu

Automobil s elektrickým pohonem a akumulátorem elektrické energie je nepochybně vozidlem budoucnosti, avšak jen pro jízdy na kratší vzdálenosti (zejména ve městech, a to v místech bez veřejné dopravy).

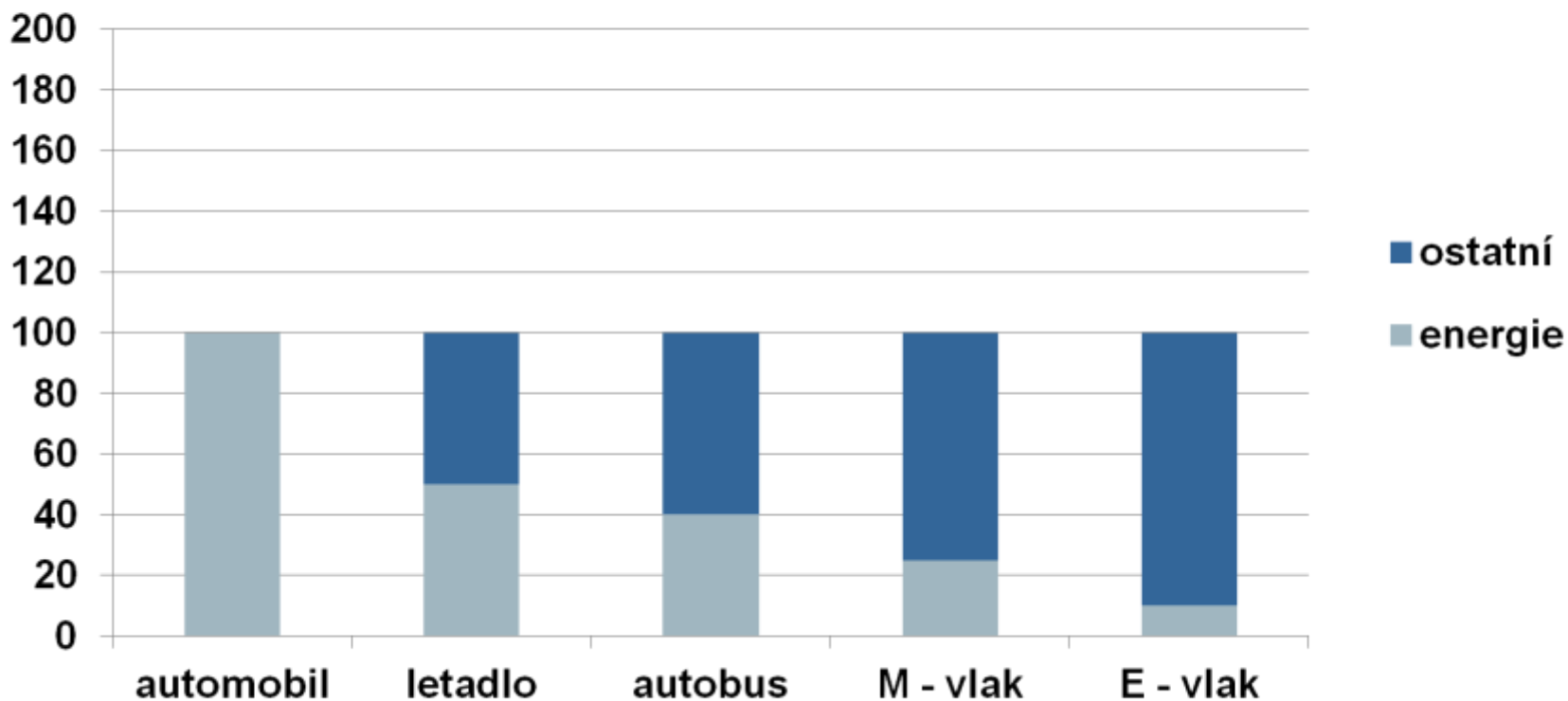
Pro dopravu ve směru silných přepravních proudů a pro dopravu na větší vzdálenosti se však elektromobil nehodí, a to z více důvodů:

- vysoká hmotnost zásobníku elektrické energie (dojezd),
- nízké denní využití drahého pohonného systému a zásobníku (ekonomika)
- vysoká energetická náročnost jakékoliv formy automobilu, danou jeho vysokým odporem valení a vysokým aerodynamickým odporem (energetika),
- neřeší nedostatek komunikací a ploch ve městech.

=> orientace na veřejnou dopravu v elektrické trakci, která umí využít k přepravě cestujících elektrickou energii i komunikace a plochy lépe než elektromobil

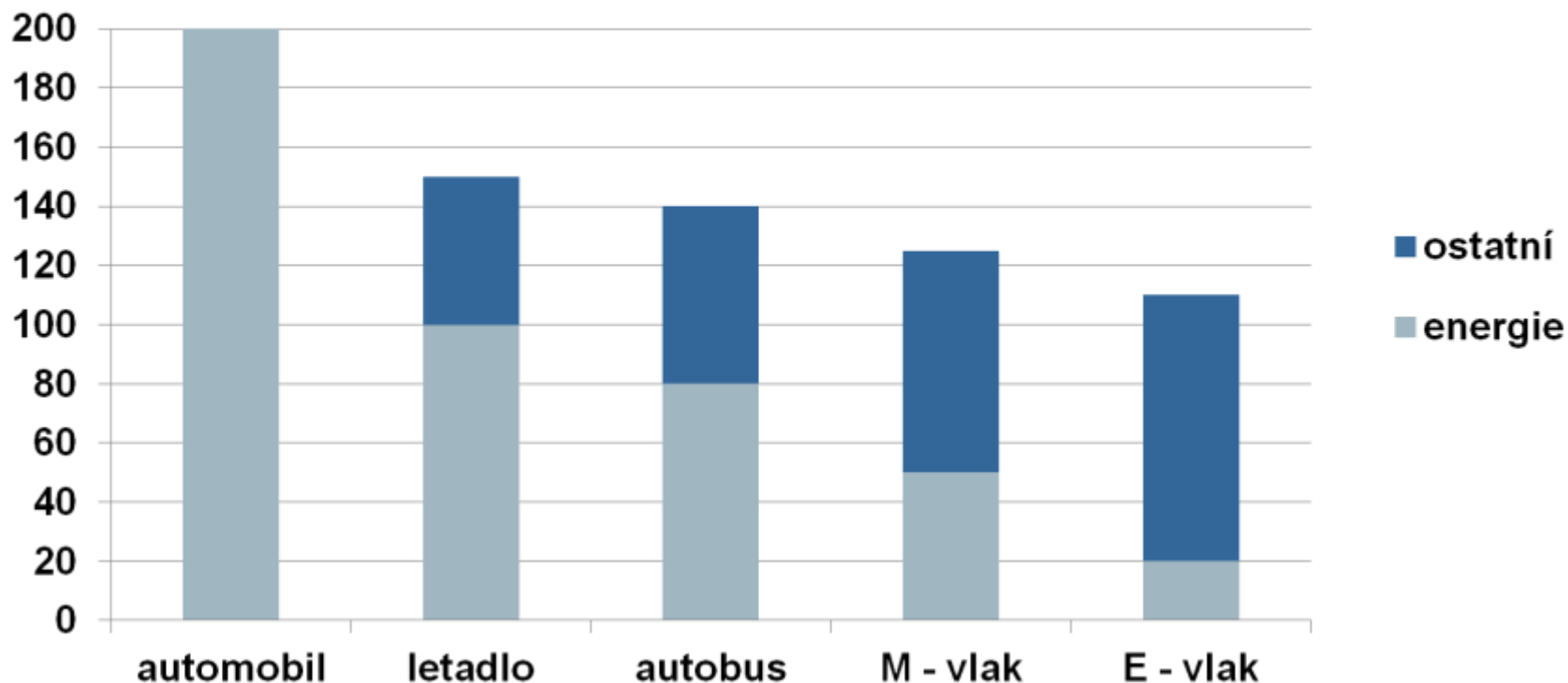
# Náklady na dopravu – vyrovnaný výchozí stav (automobil: pohonné hmoty jako jediný vnímaný přímý náklad)

Struktura nákladů - současné ceny energie



# Náklady na dopravu – stav po zdražení energií o 100 % (automobil: pohonné hmoty jako jediný vnímaný přímý náklad)

Struktura nákladů - dvojnásobné ceny energií



## Energetická a dopravní koncepce

Doprava je výrazným spotřebitelem energie (v ČR 20 %, vytápění budov 10 %).

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).

## Vývoj mobility v EU

Programový dokument EU „Bílá kniha o dopravě“ (březen 2011) konstatuje ohrožení mobility rostoucími cenami a nedostatkem kapalných uhlovodíkových paliv (zejména na bázi ropy). Ty v současnosti pokrývají 96 % energie pro dopravu v EU.

Ve snaze neomezovat mobilitu ani po eskalaci cen ropy je preferována doprava v elektrické trakci:

- z městské dopravy postupně vyloučit automobily se spalovacími motory (prioritní orientace na hromadnou dopravu s elektrickou trakcí),
- snížit produkci CO<sub>2</sub> dopravou do roku 2050 o 70 % oproti úrovni roku 2008,
- nákladní dopravu nad 300 km převést ze silnic a dálnic na železnici,
- příměstskou dopravu převést ze silnice na železnici,
- meziměstskou silniční dopravu nahradit železnicí (osobním automobilům a autobusům zůstane operativní a venkovská doprava),
- leteckou dopravu nad pevninou nahradit železnicí (letadla zajistí lety přes oceán).

## Vývoj dopravy v České republice

Za dobu dvaceti let trvání ČR (1993 až 2012) došlo k:

- zvýšení počtu obyvatel na 102 %,
- zvýšení HDP na 160 %,
- zvýšení přepravních výkonů nákladní dopravy na 115 %,
- zvýšení přepravních výkonů osobní dopravy na 150 %,
- zvýšení spotřeby energie v dopravě na 230 %,
- zvýšení exhalací produkovaných dopravou na cca dvojnásobek.
  - dopravou se plýtvá,
  - doprava plýtvá energiemi.

Došlo k orientaci na energeticky náročnější silniční automobilovou dopravu na úkor úspornější dopravy kolejové:

- podíl železnice na přepravních výkonech osobní dopravy klesl z 12 % na 6 %,
- podíl železnice na přepravních výkonech nákladní dopravy klesl z 50 % na 20 %.

# Aktualizovaná státní energetická koncepce České republiky

V listopadu 2012 předložilo Ministerstvo průmyslu a obchodu vládě ČR strategický dokument Aktualizovaná státní energetická koncepce České republiky (zpracovaný týmem odborníků pod vedením prof. Pačese).

Energetická koncepce ČR řeší energetický mix nejen na straně zdrojů, ale i na straně spotřeby. A to včetně dopravy, která je významným spotřebitelem energie (20 %). Základním principem je odklon energetiky od fosilních uhlovodíkových paliv.

V dopravě předpokládá výrazný růst podílu elektrické energie:

2012: ... 2 194 GWh (100 %)

2030: ... 3 389 GWh (154 %)

2040: ... 4 444 GWh (203 %)

V roce 2013 budou MPO ČR, MŽP ČR a MD ČR řešit, jak tuto strukturální změnu zajistit.

# Aktualizovaná státní energetická koncepce České republiky

Na současné spotřebě elektrické energie pro dopravu (2 200 GWh/rok) se podílí:  
zhruba z 50 % (1 100 GWh/rok) železnice,  
zhruba z 50 % (1 100 GWh/rok) městská hromadná doprava (metro, tramvaje,  
trolejbusy).

Jak a proč zvýšit spotřebu elektrické energie v dopravě o 1 200 GWh již do roku 2030? Cílem není spotřebovat více energie, ale cílem je dosáhnout celkového snížení spotřeby energie:

- zvýšit podíl efektivně využívané elektrické energie,
- to umožní snížit podíl kapalných paliv, která jsou využívána méně efektivně.

Dvě cesty k vyšší energetické efektivnosti dopravy:

- náhrada spalovacího motoru (účinnost 30 až 40 %) elektrickým (účinnost 90 %),
- snížení trakčního odporu (kolejová doprava, hromadná doprava – dlouhá vozidla /vlak s nízkým aerodynamickým odporem).



## Převedení dopravy ze silnic na železnice v EU

Základním nástrojem je **pozitivní motivace přepravců nabídkou kvalitních služeb železnice** (rychlost, dochvilnost, nízká cena).

### Dílní nástroje:

- zlepšení železniční infrastruktury (vyšší kapacita, dostatek tras pro vlaky osobní přepravy i pro nákladní vlaky),
- dokončení elektrizace dopravně zatížených železničních tratí,
- dobudování evropské sítě vysokorychlostních železnic (ztrojnásobení délky sítě do roku 2030, tedy postavení dalších 20 000 km nových vysokorychlostních železnic,
- moderní vysoce produktivní interoperabilní vozidla,
- kvalitní a evropsky jednotné zabezpečení - využití ETCS na tratích a na vozidlech,
- harmonizace podmínek pro jednotlivé druhy doprav, tedy důsledné zpoplatnění dopravní cesty i v silniční a vodní dopravě, spotřební daň z uhlovodíkových paliv i v letecké a vodní dopravě: „uživatel platí“,
- zpoplatnění dopadů na životní prostředí a přírodu - internalizace externalit: „znečišťovatel platí“
- rozvoj kombinované dopravy (decentralizované terminály – horizontální překládka).

# Bilance nákladů na energii osobní dopravy

## – směrné hodnoty pro nižší rychlosti

### Osobní automobil:

- 1,5 litru nafty (s tepelným obsahem 10 kWh/dm<sup>3</sup>) na sedadlo a 100 km, tedy 0,15 kWh/sedadlo/km

### Elektromobil:

- 8 kWh elektrické energie na sedadlo a 100 km, tedy 0,08 kWh/sedadlo/km

### Elektrifikovaná železnice:

- 2 kWh elektrické energie na sedadlo a 100 km, tedy 0,02 kWh/sedadlo/km

- Vozit osoby po silnici má smysl jen na krátké vzdálenosti (operativní přepravy), nikoliv na větší vzdálenosti.
- Na větší vzdálenosti je účelné využívat železnici, zejména elektrifikovanou.
- Energetický efekt železnice: 1 kWh elektrické energie nahradí 7,5 kWh z nafty / benzínu.

# Bilance nákladů na energii dálkové osobní dopravy – směrné hodnoty pro vyšší rychlosti

## Letadlo:

- 4 litry kerosinu (s tepelným obsahem  $10\text{kWh}/\text{dm}^3$ ) na sedadlo a 100 km, tedy  $0,40\text{ kWh}/\text{sedadlo}/\text{km}$

## Vysokorychlostní železnice:

- 4 kWh elektrické energie na sedadlo a 100 km, tedy  $0,04\text{ kWh}/\text{sedadlo}/\text{km}$

- Létat má smysl přes moře, nikoliv nad pevninou.
- Po zemi je účelné využívat železnici s elektrickou vzbou.
- **Energetický efekt železnice: 1 kWh elektrické energie nahradí 10 kWh z kerosinu**

# Bilance nákladů na energii silniční a železniční nákladní dopravy – směrné hodnoty

## Nákladní automobil:

- 15 litrů nafty (s tepelným obsahem 10 kWh/dm<sup>3</sup>) na 1 000 netto tkm, tedy 0,15 kWh/netto tkm

## Neelektrifikovaná železnice:

- 5 litrů nafty (s tepelným obsahem 10 kWh/dm<sup>3</sup>) na 1 000 netto tkm, tedy 0,05 kWh/netto tkm

## Elektrifikovaná železnice:

- 20 kWh elektrické energie na 1 000 netto tkm, tedy 0,02 kWh/netto tkm

- Vozit náklad po silnici má smysl jen na krátké vzdálenosti (operativní přepravy), nikoliv na větší vzdálenosti.
- Na větší vzdálenosti je účelné využívat železnici, zejména elektrifikovanou.
- **Energetický efekt železnice: 1 kWh el. energie nahradí 7,5 kWh z nafty.**

# Bilance nákladů na energii silniční a železniční nákladní dopravy – směrné hodnoty

## Říční plavba:

- 8 litrů nafty (s tepelným obsahem 10 kWh/dm<sup>3</sup>) na 1 000 netto tkm, tedy 0,08 kWh/netto tkm

## Neelektrifikovaná železnice:

- 5 l nafty (s tepelným obsahem 10 kWh/dm<sup>3</sup>) na 1 000 netto tkm, tedy 0,05 kWh/netto tkm

## Elektrifikovaná železnice:

- 20 kWh elektrické energie na 1 000 netto tkm, tedy 0,02 kWh/netto tkm

- Tam, kde je k dispozici železnice, nemá smysl provozovat říční plavbu.
- Nemá smysl budovat nové říční vodní cesty podél existující železnice.
- **Energetický efekt železnice: 1 kWh elektrické energie nahradí 4 kWh z nafty.**

# Aktualizovaná státní energetická koncepce České republiky - železnice

Současná spotřeba trakční elektrické energie na železnici činí cca 1 100 GWh/rok.

K racionálnímu zvýšení této hodnoty na zhruba dvojnásobek (a to i v souběhu se snižováním měrné spotřeby – rekuperační brzdění, aerodynamika, optimalizace řízení, ...) vedou dva kroky:

- zvýšení podílu elektrické vozby na úkor vozby naftové, tedy dokončením elektrizace dopravně silně zatížených tratí a důsledným používáním elektrické vozby na elektrifikovaných tratích,
- zvýšením objemů přepravních výkonů železnice v osobní i nákladní dopravě zhruba na dvojnásobek (na 13 mld. os. km/rok a 28 mld. netto tkm/rok. Toto zdvojnásobení je reálné, znamená nárůst o cca 4 % ročně v rozmezí let 2013 až 2030.

# Aktualizovaná státní energetická koncepce České republiky – železnice

## Zvýšení podílu elektrické vozby na úkor vozby naftové

Tento krok je vcelku snadno dosažitelný. Jde o elektrizaci silněji zatížených tratí, na kterých dosud zajišťují vozidla poháněná naftou. V úvahu přicházejí tratě: Praha / Nymburk – Turnov - Liberec, Praha – Rakovník, Jaroměř – Trutnov, Plzeň – Česká Kubice, Klatovy – Železná Ruda, Horažďovice – Sušice, Planá – Tachov, Zdice – Písek, Brno – Jihlava, Olomouc – Uničov, Olomouc – Hrubá Voda, Šumperk – Jeseník, Opava – Krnov, Ostrava – Frenštát, Otrokovice – Vizovice, Staré Město – Luhačovice, Uherské Hradiště - Veselí nad Moravou, ...

# Aktualizovaná státní energetická koncepce České republiky – železnice

## Zvýšení objemů přepravních výkonů železnice v osobní i nákladní dopravě

Tento krok má dvě základní podmínky:

- zvýšení kvality a atraktivity železniční dopravy,
- zvýšení kapacity železniční dopravní cesty ve směrech největší přepravní poptávky.

Řešením je začlenění České republiky do evropského systému vysokorychlostních železnic. Do roku 2030 je navrhováno uskutečnit pilotní projekt vysokorychlostní železnice Lovosice – Praha – Brno – Vranovice , jako první část spojení severozápad – jihovýchod (Berlín – Drážďany – Brno – Vídeň / Bratislava).

Tím zkrátit spojení Čech a Moravy o 1,5 hodiny a zároveň odlehčit konvenční tratě od dálkové osobní dopravy, tak aby mohly sloužit nákladní dopravě a regionální osobní dopravě.



# Aktualizovaná státní energetická koncepce České republiky – přínos

Cílem pochopitelně není spotřebovat více elektřiny, ale spálit méně nafty. Multiplikační faktor úspor při převedení dopravy z automobilů poháněných naftou na vlaky poháněné elektřinou je přibližně 7,5:

Poměr účinnosti pohonu elektromotorem versus spalovacím motorem:

- $K_p = \eta_e / \eta_d = 90 \% / 36 \% = 2,5$

Poměr středního trakčního odporu automobilu a vlaku:

- $K_o = p_s / p_z = 15 \text{ ‰} / 5 \text{ ‰} = 3$

Výsledný multiplikační faktor:

- $K = K_p \cdot K_o = 2,5 \cdot 3 = 7,5$

Jedna spotřebovaná kWh elektrické energie (za 2,5 Kč) tedy nahradí 7,5 kWh energie z nafty. To znamená (při výhřevnosti nafty 10 kWh/litr) úsporu 0,75 litru nafty (za  $0,75 \cdot 28 \text{ Kč/litr} = 21 \text{ Kč}$ ).

- elektrická energie : 1 mld. kWh/rok (2,5 mld. Kč)
- úspora nafty: 7,5 mld. kWh/rok / 0,75 mld. litrů/rok (21 mld. Kč/rok)
- úspora nákladů:  $21 - 2,5 = 18,5$  mld. Kč/rok

## Jak v městské dopravě?

Rovněž v městské dopravě je potřebné zásadním způsobem zvýšit podíl elektrické energie na úkor spalování uhlovodíkových paliv (nafta, benzin, plyn).

Na individuální elektromobily nelze spoléhat, to není efektivní cesta – automobily jsou svými majiteli denně využívány jen velmi krátký čas a ujedou malou vzdálenost.

Ekonomicky se nevyplatí investovat do nákupu individuálně používaného elektromobilu zaměstnaným člověkem (tedy s nízkým denním časovým využitím).

Elektromobily proto budou mít význam jen v oblastech čtenějšího využívání, tedy s profesním řidičem (taxi, služební vozy, rozvážka, ...).

=> Rozhodující roli ve zvýšení podílu elektrické trakce ve městské dopravě musí zajistit vozidla denně provozovaná 12 až 18 hodin a schopná ujet 200 až 400 km, tedy vozidla městské hromadné dopravy.

## Jak v městské dopravě?

Jak zvýšit podíl elektrické vozby v městské hromadné dopravě?

Jaké jsou závislosti mezi přepravními výkony a spotřebou elektrické energie?

Příklad: Metro Praha

60 % spotřeby elektrické energie mají stanice

40 % spotřeby elektrické energie mají vozidla

=> při (teoretickém) zvýšení přepravních a dopravních výkonů na současných linkách na 200 % stoupne spotřeba elektrické energie jen na 140 %

- jaký je potenciál dalšího rozvoje elektrické vozby?
- jaké investice do infrastruktury vyžaduje další rozvoj elektrické vozby?

## Jak v městské dopravě?

Veřejně dostupná statistická data jsou pro výpočty nedostačující – idea využít SDP ČR k propočtu bilance městské hromadné dopravy:

V jednotlivých městech zjistit u jednotlivých druhů MHD (metro, tramvaj, trolejbus, autobus) základní charakteristické údaje:

- roční objem přepravovaných osob,
- roční přepravní práce (os km),
- roční vlakový výkon (vl. km),
- roční spotřeba trakční energie (kWh, respektive litr),
- střední vzdálenost zastávek,
- střední cestovní rychlost,
- střední denní běh vozidla
- střední přepravní kapacita (sedadel).

Tato data vložit do energetického a ekonomického modelu náhrady uhlovodíkových paliv elektřinou.

# Zvýšení podílu elektrické vozby v městské dopravě

## Výchozí stav

Elektrická vozba je podmíněna liniovou infrastrukturou - trakční vedení plus kolej (u kolejových systémů)

## Současnost

- ve městech a jejich okolí jsou především rozvíjeny silniční komunikace primárně určené především pro individuální automobilovou dopravu (včetně tunelů, přemostění...), zatímco rozvoj sítě elektrických vozidel (metro, tramvaje, trolejbusy) stagnuje
- => využít nově budované komunikace i pro MHD,
- s růstem kultury bydlení (vysoké činžovní domy versus přízemní rodinné domky se zahradou) výrazně klesá plošná koncentrace osídlení – elektrickou vozbu je potřebné přestat vázat na drahé liniové stavby.
- = > vozidla se zásobníky energie (polozávislá elektrická trakce)

## Klíčové téma: rozvoj metra, tramvají a elektrobusů

## Elektrobus – stav techniky

### Nafta:

12 000 kWh tepelné energie na tunu,  
4 800 kWh mechanické energie na tunu.

### Lithiová baterie:

100 kWh elektrické energie na tunu

### Dvě možnosti koncepčního pojetí elektrobusu:

a) Vozidlo speciálně projektované jako elektrobus, tedy s rezervou prostoru a hmotnosti pro zásobník energie

=> drahé a technicky nevyspělé unikátní vozidlo

b) Modifikace standardního autobusu na elektrobus

=> cenově dostupné a technicky vyspělé standardní vozidlo, ale s omezeným dojezdem

## Elektrobus - alternativy

### Pracovní a nabíjecí režimy:

- a) celodenní provoz (například  $18 \text{ h} \cdot 20 \text{ km/h} = 360 \text{ km/den}$ ), pak noční nabíjení – při současném stavu techniky nereálné,
  - b) polodenní provoz (ranní a odpolední špička, zhruba dvakrát  $5 \text{ h} \cdot 20 \text{ km/h} = 100 \text{ km}$ ), mezi tím noční i polední nabíjení – technicky reálné, ale omezený rozsah aplikací,
  - c) opakovaný jednohodinový cyklus (50 minut provoz, 10 minut nabíjení na konečné)
  - d) zastávkový princip (2 minuty jízdy, 15 s nabíjení na každé zastávce).
- Pro města s elektrickou trakcí (tramvaj, trolejbus) se velice zajímavým jeví opakovaný jednohodinový cyklus – nabíjení elektrobusů je napájeno z existujícího trakčního vedení a měníren.

# Elektrobus pro oběhový provoz (denní cyklus) Jednorázové dobíjení ze zásuvky (Vídeň)





# Elektrobus pro oběhový provoz (1-hodinový cyklus) Postupné dobíjení z dvoustopého trakčního vedení (Vídeň)

SIEMENS



## Zastávkový princip nabíjení



# Vývoj městské dopravy

## Trendy ve společnosti:

- roste cena kapalných uhlovodíkových paliv => je potřebné řešit náhradu ropných paliv elektrickou energií,
- mění se formy osídlení měst. V důsledku růstu komfortu bydlení klesá plošná koncentrace obyvatelstva => jsou potřebné jak vysoce kapacitní, tak i méně kapacitní dopravní systémy.

Rozvoj tradičních elektrických dopravních systémů (metro, tramvaj, trolejbus),

Doplnění městské hromadné dopravy i o systémy polozávislé elektrické vozby.



**Děkuji Vám za Vaši pozornost.**



**Jiří Pohl**

Engineer Senior

Siemens, s.r.o. / IC RL EN

Siemensova 1

155 00 Praha 13

Česká republika

**[siemens.cz/mobility](http://siemens.cz/mobility)**