

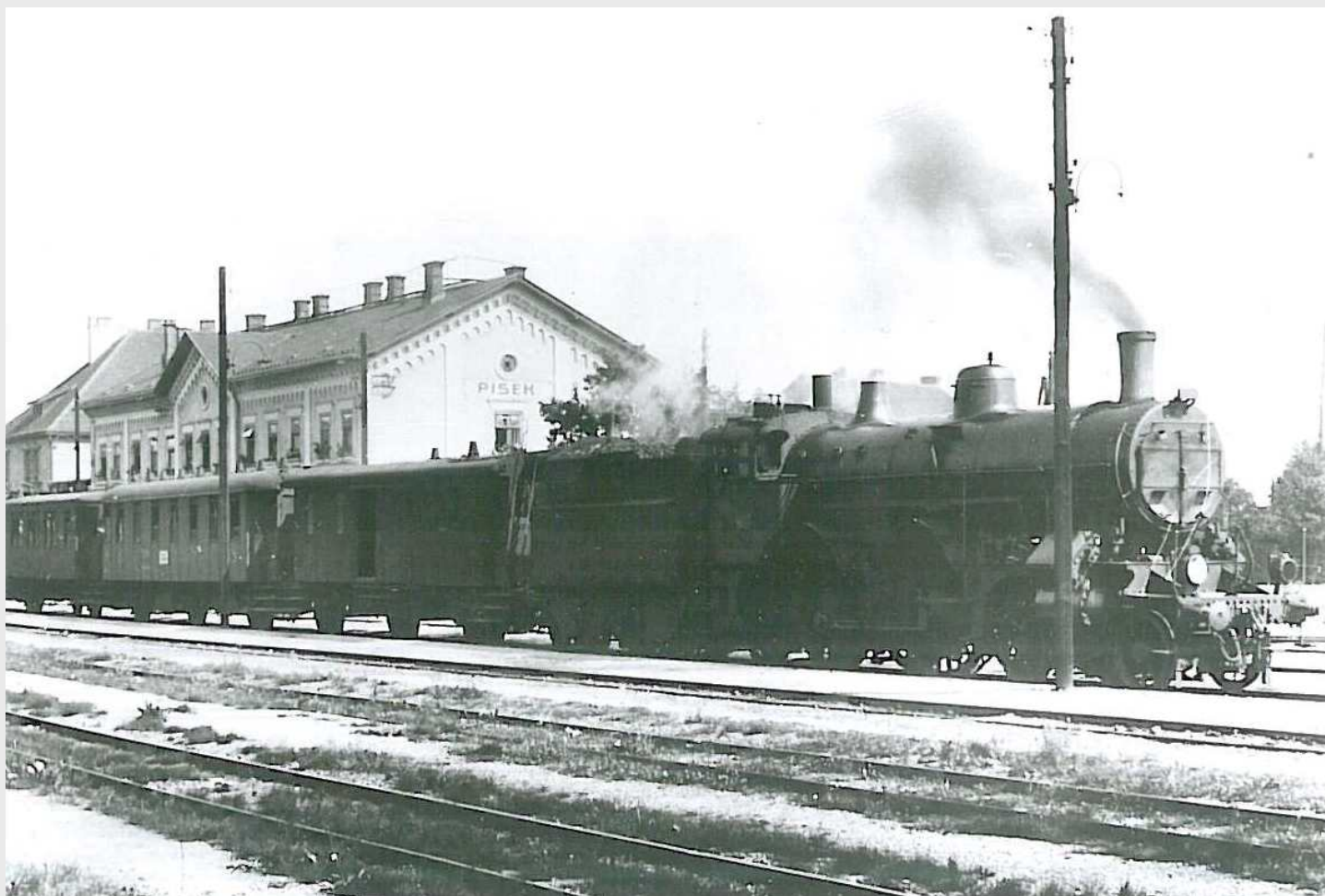
Nová role a podoba železniční dopravy

Ing. Jiří Pohl
Siemens, s.r.o.

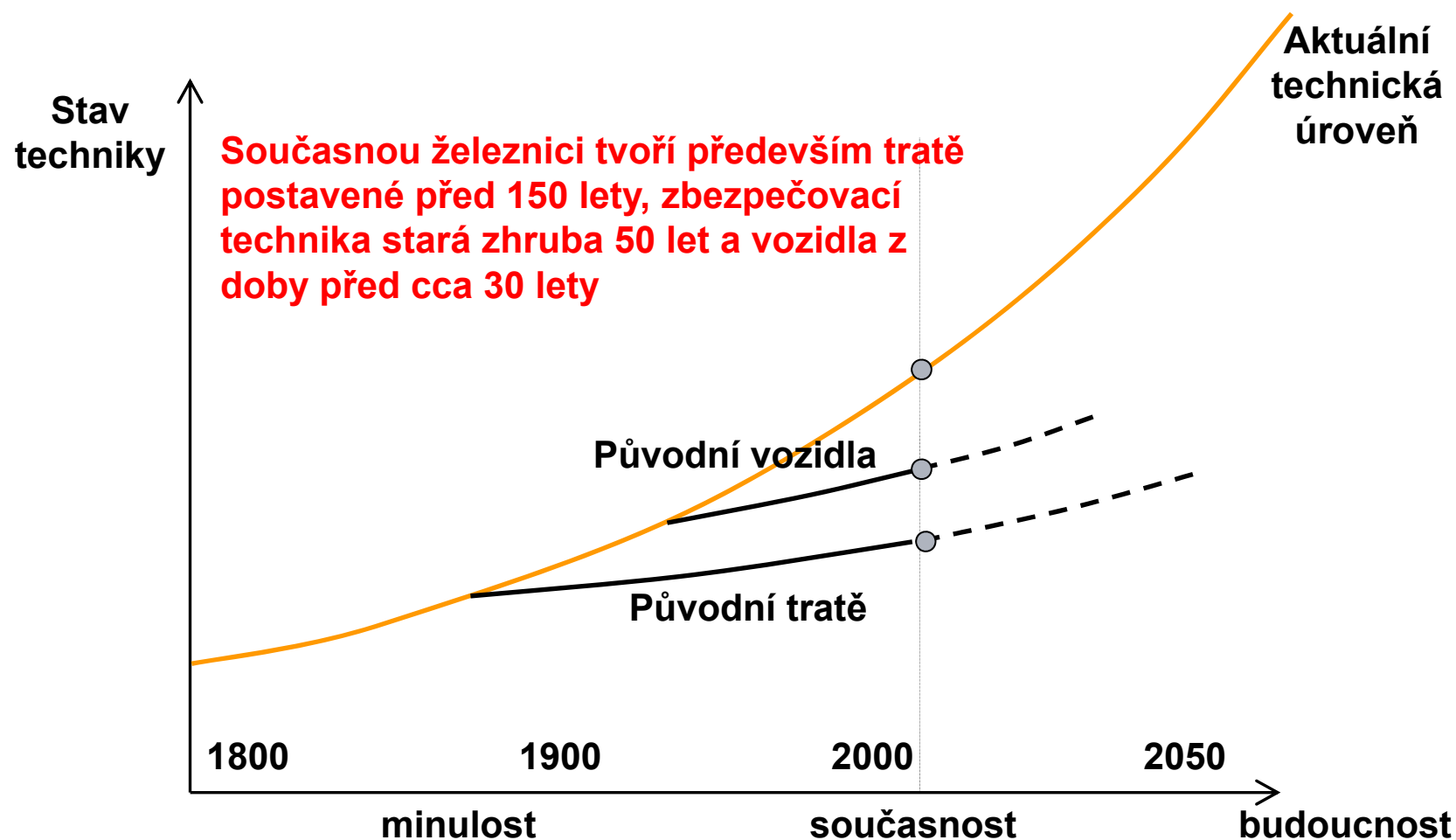
Seminář
Regulace konkurenčního prostředí na železnici
Telč 25.11.2011

Železnice má více než sto padesátiletou historii

SIEMENS



Aktuální podobu železnice určují aktivity v minulosti



Tratě byly v průběhu let 1839 - 2011 modernizovány

- ★ únosnost svršku a spodku zvýšena pro nápravový tlak 22 t**
- ★ prostorová průchodnost zvýšena na soudobé průjezdné průřezy**
- ★ maximální rychlost zvýšena na 100 až 160 km/h**
- ★ některé tratě byly zdvojkolejněny**
- ★ staniční koleje byly prodlouženy**
- ★ některé tratě byly elektrizovány**
- ★ byla zavedena zvýšená nástupiště**
- ★ bylo modernizováno zabezpečovací zařízení**
- ★ bylo modernizováno sdělovací zařízení**

Tratě z 19. století

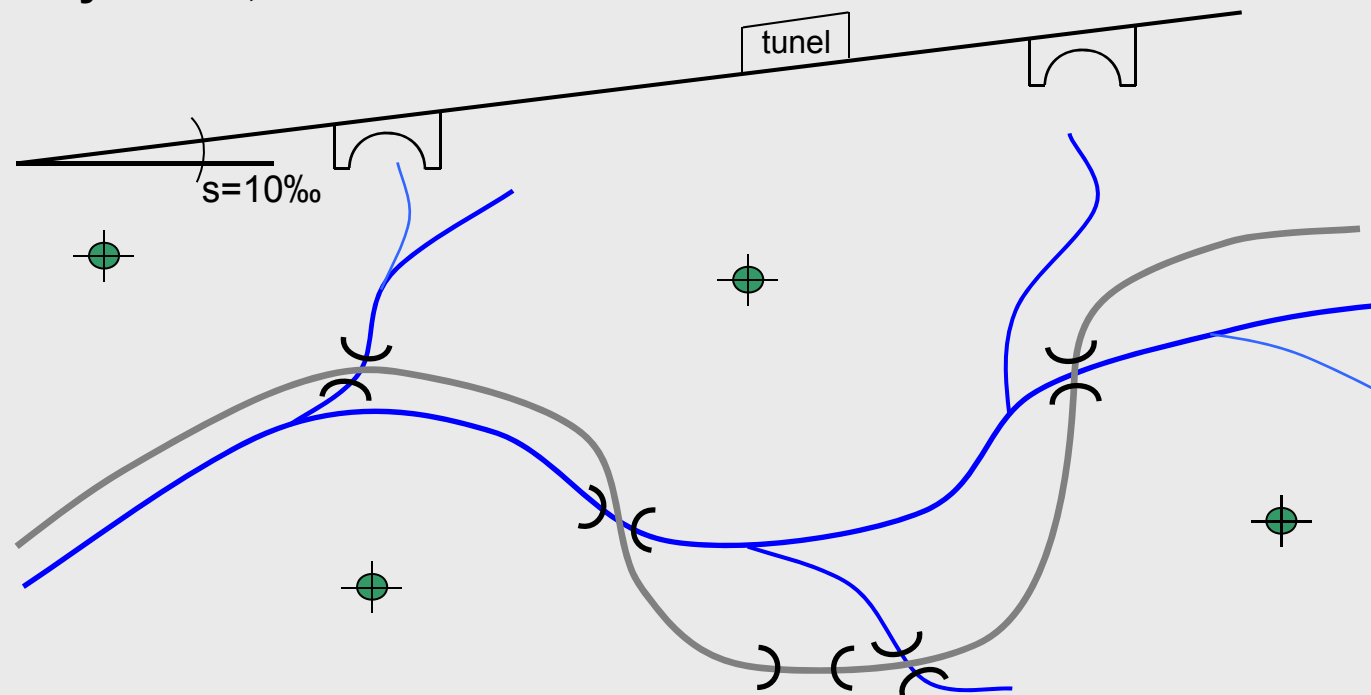
Přes provedené modernizace však v sobě mnohé tratě nesou dva prvky, odpovídající parametrům vozidel 19. století, tehdejším možnostem stavebních technologií a finančních zdrojů:

- ★ malé poloměry oblouků, omezujících rychlost jízdy současných vlaků,**
- ★ menší podélné sklony, než jsou současná vozidla schopna zvládnout**

Konvenční trať z 19. století, $R \geq 300$ m, $s \leq 10$ ‰

Pokud možno:

- ★ železnice objíždí přírodní překážky
- ★ základní pravidlo: nepřekročit dovolený sklon
- ★ ne mnoho zemních prací a umělých staveb
- ★ nástroj: mnohé oblouky
- ★ výsledek: nízká rychlost, dlouhá trasa



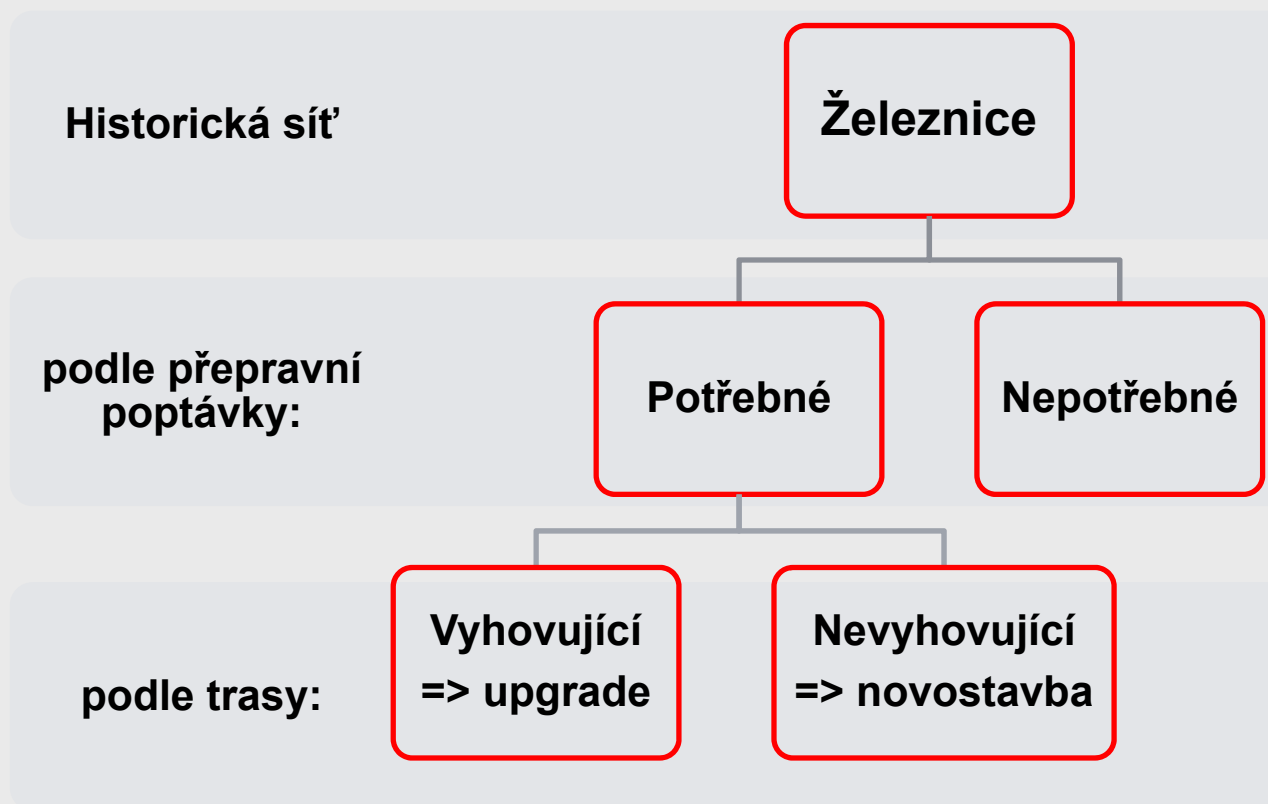
Pozice železničních tratí z 19. století ve 21.století

- **vyšší požadavky na rychlost cestování,**
- **jiné přepravní proudy nákladní dopravy (náhrada dopravy uhlí dálkovými přenosy elektrické energie),**
- **jiné přepravní proudy osobní dopravy (změna struktura osídlení – přesun obyvatelstva a práce z venkova do měst).**

=> je ještě potřebná a použitelná dosud existující (historická) železniční síť?

Extrémní příklad: téměř veškerou osobní a nákladní dopravu mezi ČR a Německem zajišťuje v současnosti jen jediná trať (podél Labe)

Současná struktura železničních tratí



Polarizace železniční sítě (SŽDC, 2007)

	délka		doprava		traťový tok
kategorie tratě	km	%	hrtkm	%	hrt/den
Evropská	2 556	27,1	51 773 000 000	82,9	55 494
celostátní	3 705	39,3	9 413 000 000	15,1	6 961
regionální	3 160	33,5	1 300 000 000	2,1	1 127
celkem	9 421	100	62 486 000 000	100	18 172

EU: Bílá kniha o dopravě (březen 2011)

Současná forma mobility (založená z více než 90 % na spalování ropných produktů) je neudržitelná, systémové změny jsou nevyhnutelné:

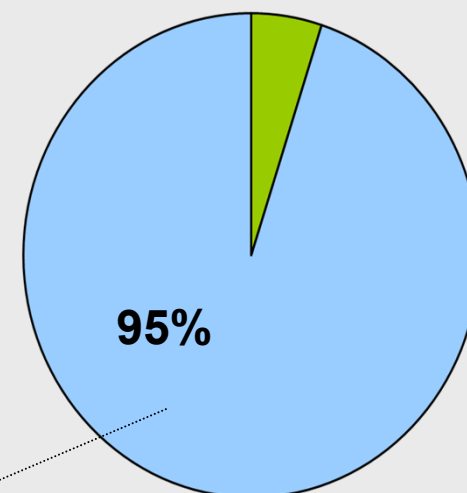
- **preference kolejové dopravy pro její nízkou energetickou náročnost**
- **preference elektrické vozby pro perspektivnost zdrojů**
- **převzetí nákladní dopravy nad 300 km ze silnice železnicí**
- **převzetí kontinentální rychlé osobní dopravy od letectví železnicí**
- **ztrojnásobení sítě HS tratí do roku 2030**



Závislost dopravy na kapalných uhlovodíkových palivech

Struktura zdrojů energie pro dopravu:

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



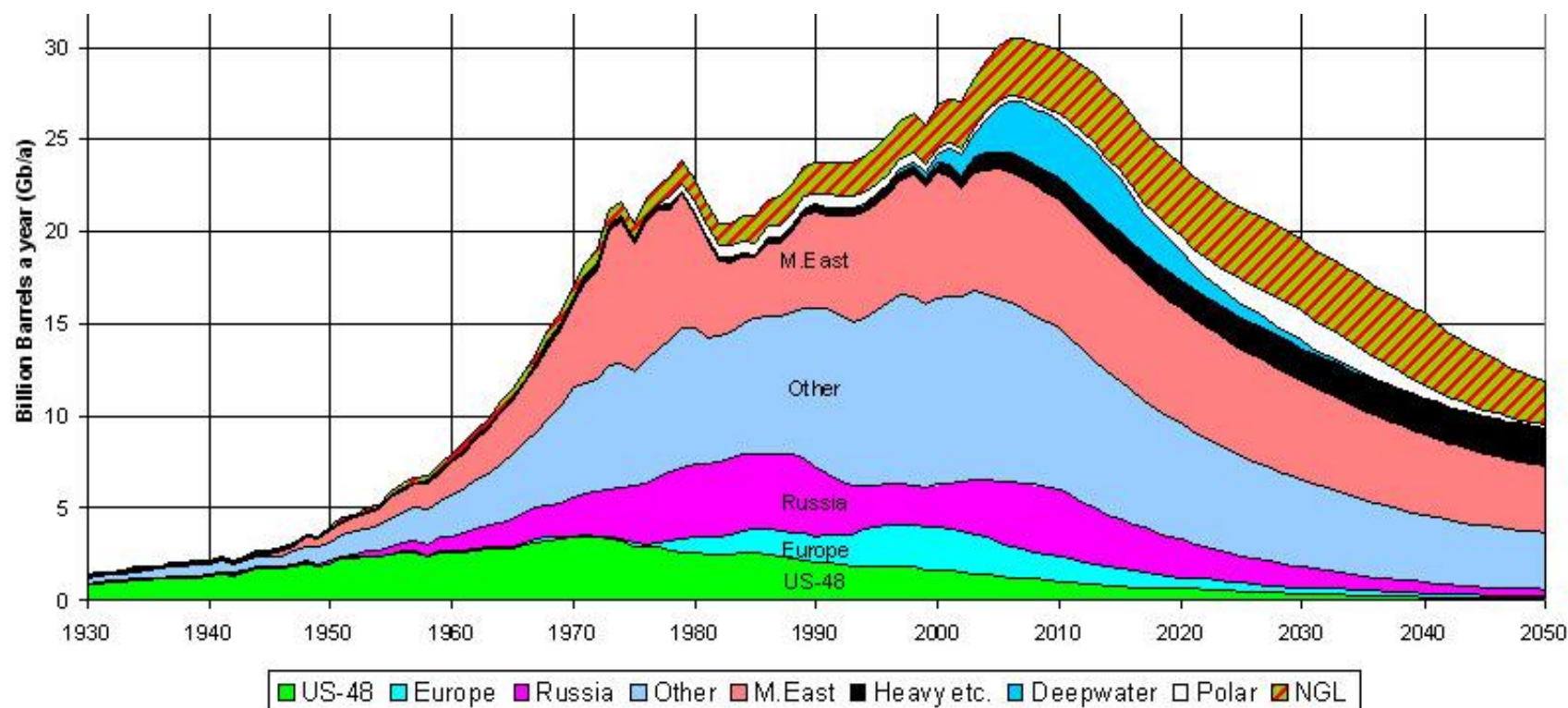
**kapalná
uhlovodíková
paliva**

Prognóza ropných zdrojů

Hubbertova křivka

SIEMENS

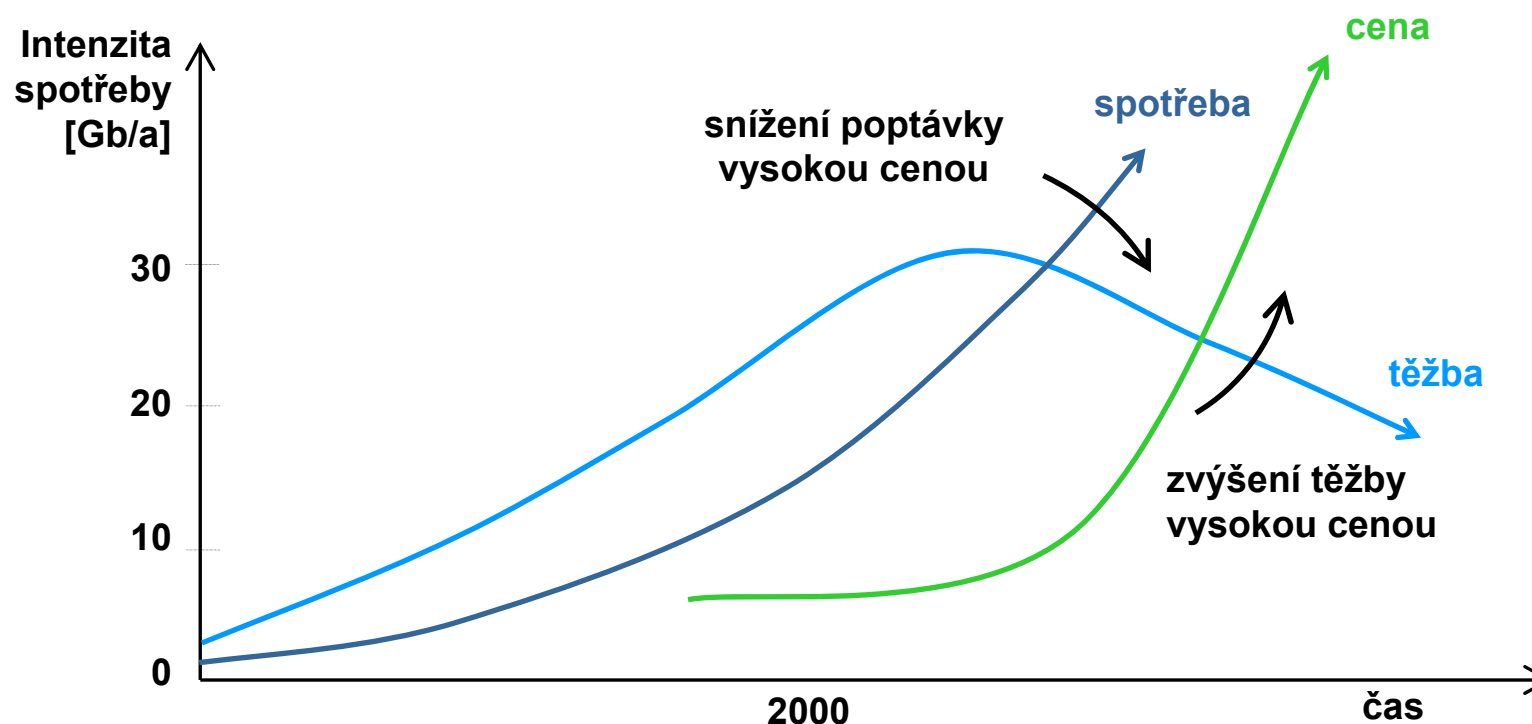
Ropa vznikala 2 00 000 000 let a bude spotřebována v průběhu 200 let



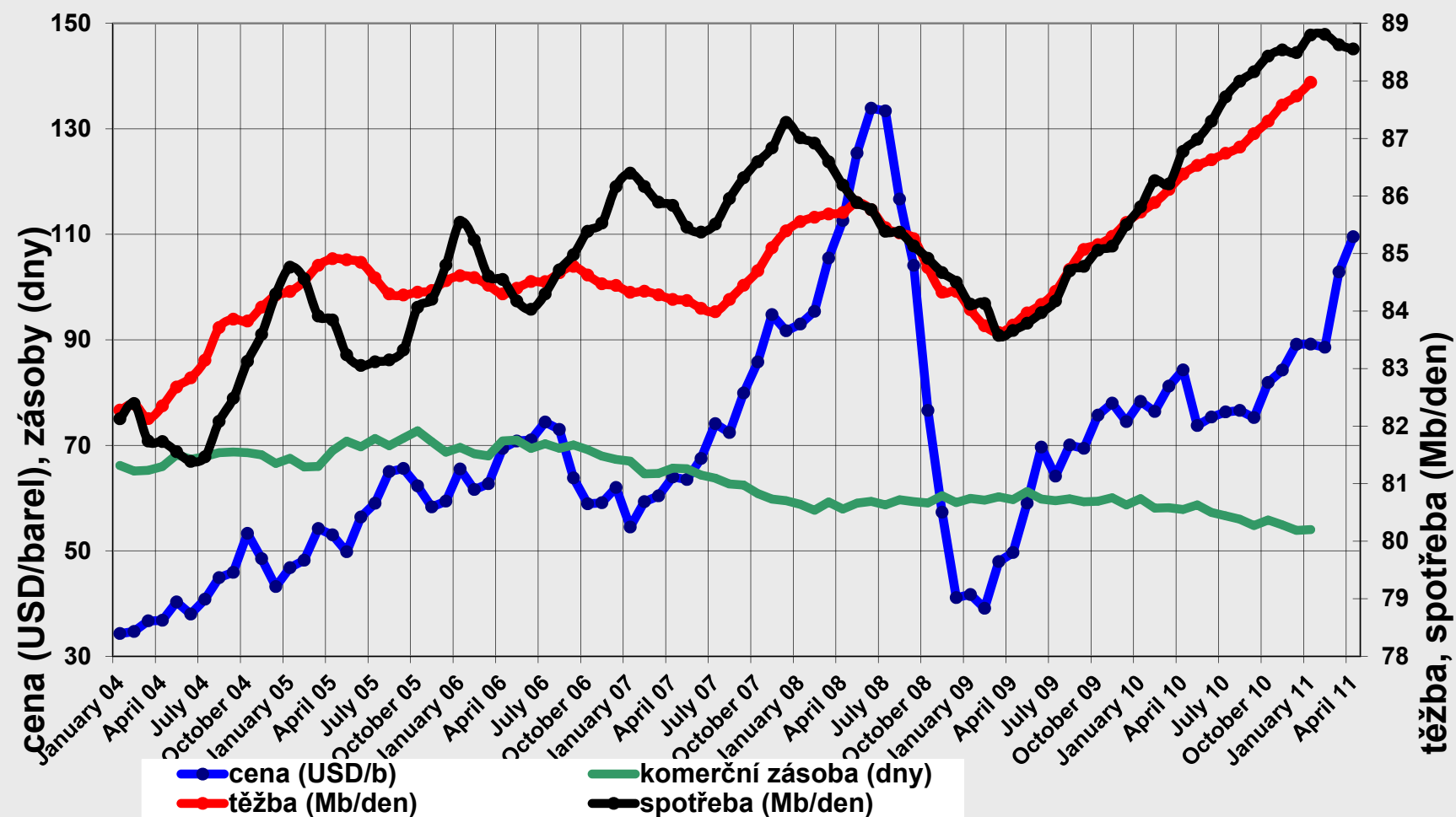
Zdroj: Association for the study of peak Oil and Gas, 2003

Geologické a ekonomické zákonitosti těžby a spotřeby ropy

- 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.



Vývoj těžby a spotřeby ropy



Přirodní ropa

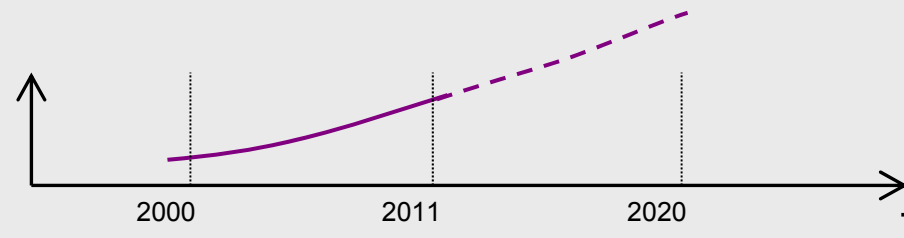
1 barel (159 litrů) ropy:
náklady na těžbu
prodejní cena (2011)

10 USD
100 USD

} kvůli ropě se lže,
krade a zabíjí

Úhel pohledu na těžbu ropy:

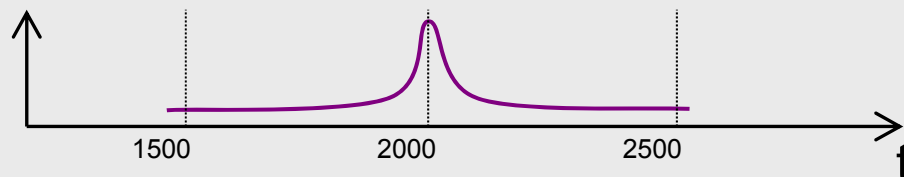
A) očima ekonoma



B) očima geologa
(Hubert, 1955)



C) očima historika



Alternativní paliva

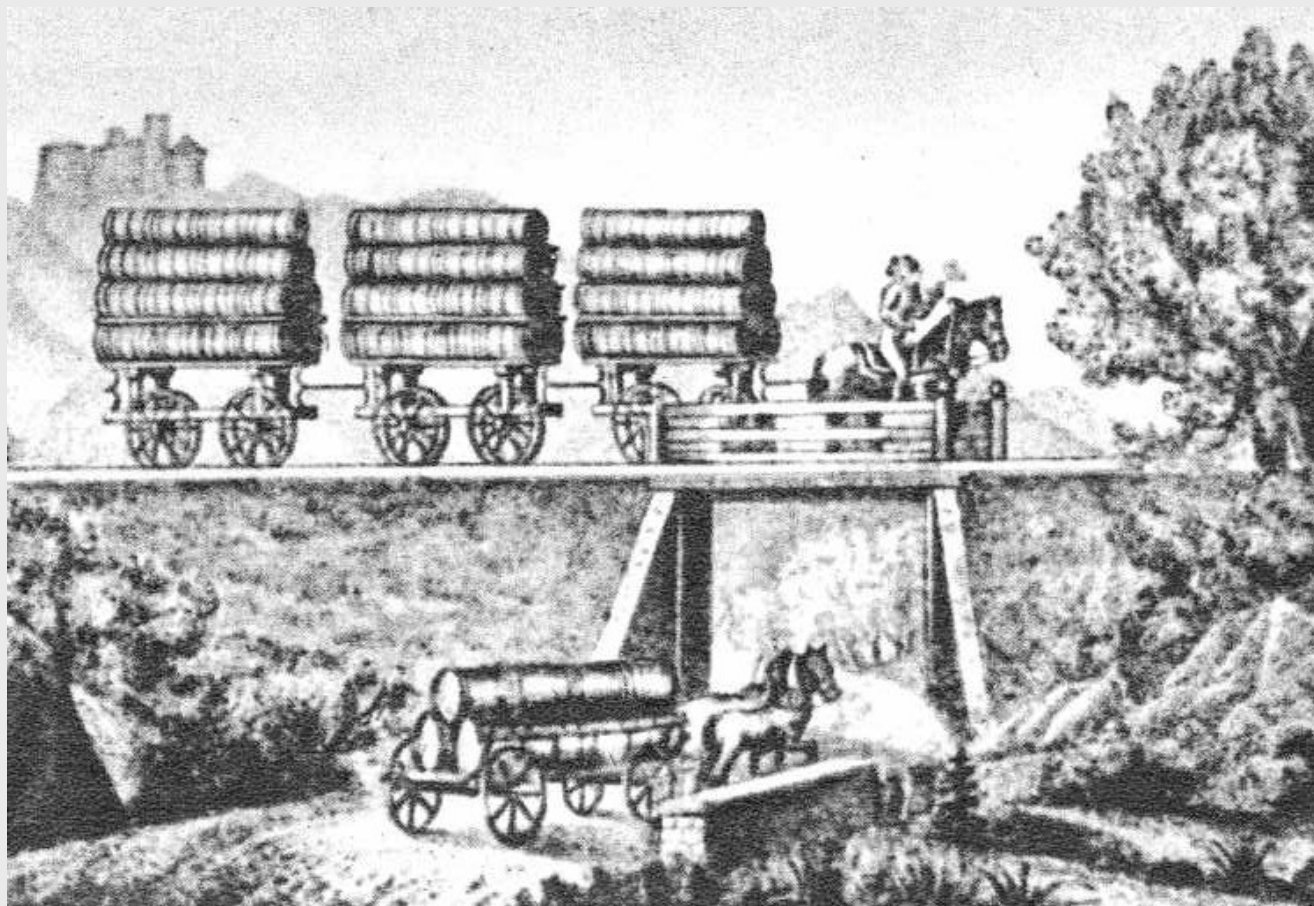
Bionafta – metylester řepkového oleje

- 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 dm³ bionafty s tepelným obsahem 8000 kWh – tedy 0,8 kWh/m², výsledná účinnost je 0,08%,
- v ČR připadá na jednoho obyvatele spotřeba 7,4 barelů ropy ročně, tedy celkem spotřebuje ČR cca 12 000 000 000 dm³ ropy ročně,
- k úplné náhradě ropy řepkou by bylo potřeba v ČR pěstovat řepku na ploše 15 000 000 ha,
- v ČR je k dispozici jen 3 032 000 ha orné půdy, k pěstování řepky je potřeba pětkrát 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 může mít neblahé sociální dopady

Tudy cesta nevede!

Řešení mobility v roce 1825
(František rytíř Antonín Gerstner: nechtěl od státu peníze, ale exkluzivitu)

SIEMENS

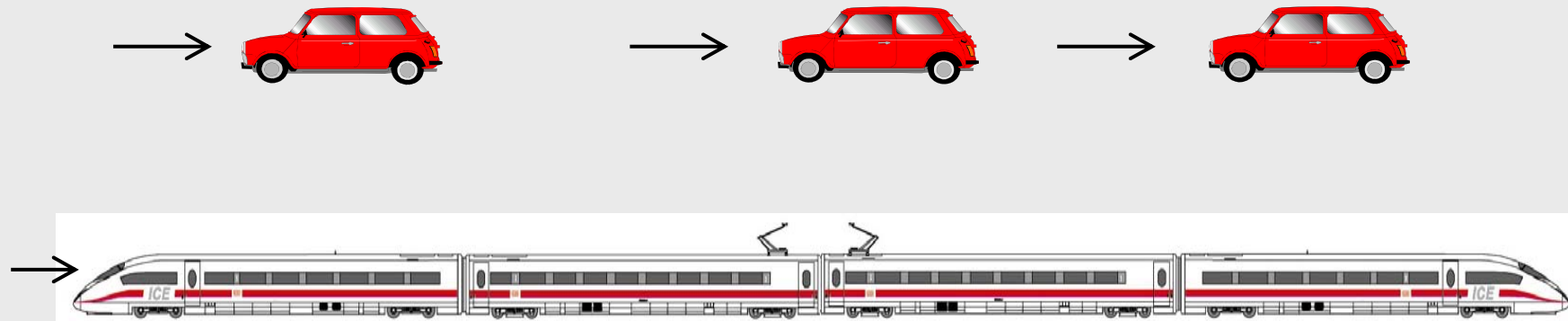


Doprava soli na koňské dráze Budějovice - Linec v porovnání s dopravou po císařské silnici. Jeden kůň utáhl na kolejích 70 vídeňských centů, na silnici pouze 10 centů a ještě potřeboval v obtížných úsecích přípřež.

Proč železnice ?

Výhody železnice proti automobilu:

- osmkrát nižší valivý odpor (1 ‰ proti 8 ‰),
- násobně nižší aerodynamický odpor (schopnost vozidel tvořit vlak) – význam této výhody se zvyšuje s rostoucí rychlostí.

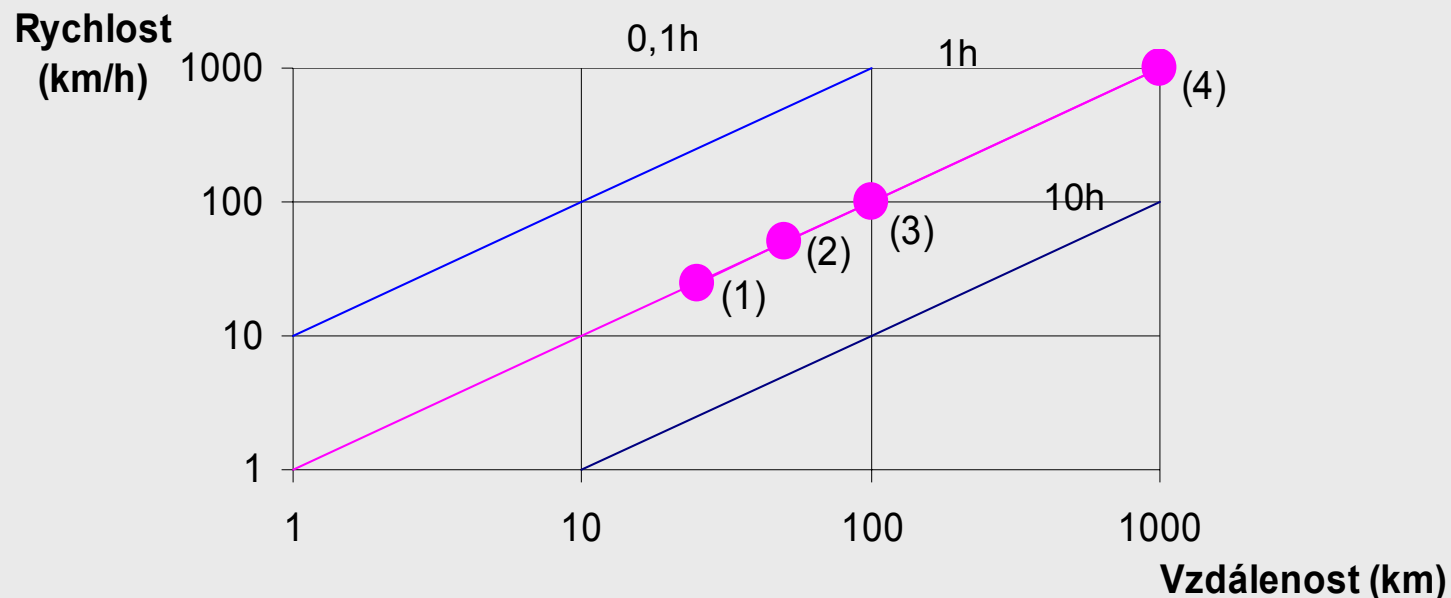


Mobilita společnosti (nevnímání prostoru)

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 1000 km po Evropě (letadlo) $v = 1000 \text{ km/h}$ (4)

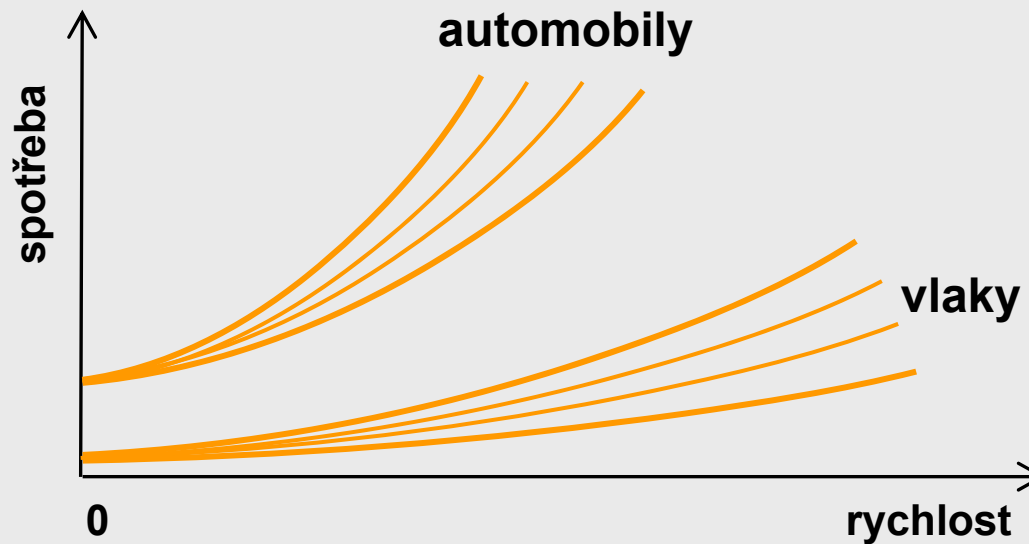
⇒ vzdálenostem přizpůsobujeme rychlost přepravy



Energetická výhodnost nákladní železniční dopravy

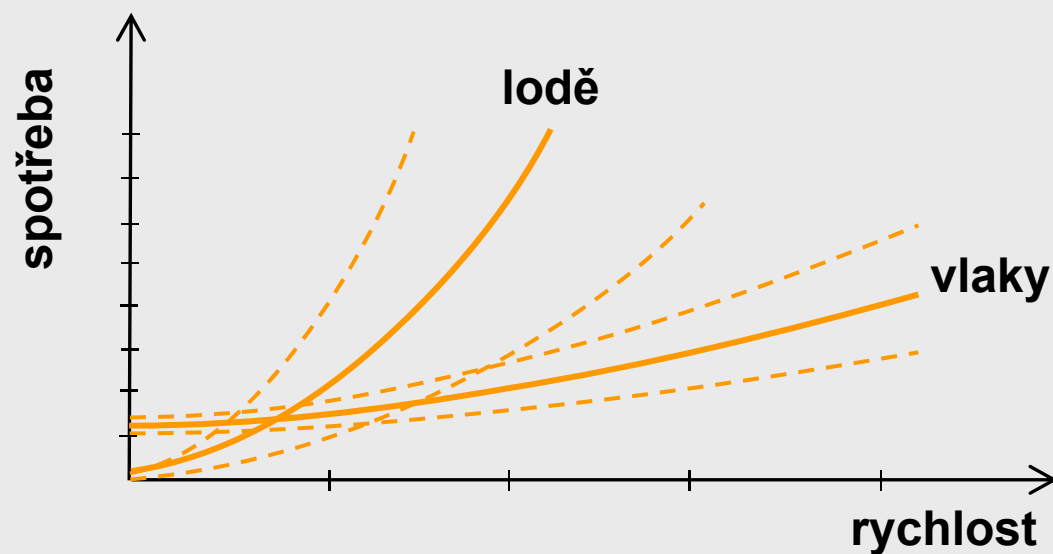
Spotřeba energie pro dopravu nákladu na železnici asi třikrát menší, než na silnici.

Je to dáno nízkým valivým odporem a nízkým aerodynamickým odporem (jízda vozidel v zákrytu).



Energetická výhodnost nákladní železniční dopravy

Vlivem nízkého odporu valení a nízkého odporu prostředí je moderní železnice energeticky úspornější, než říční plava

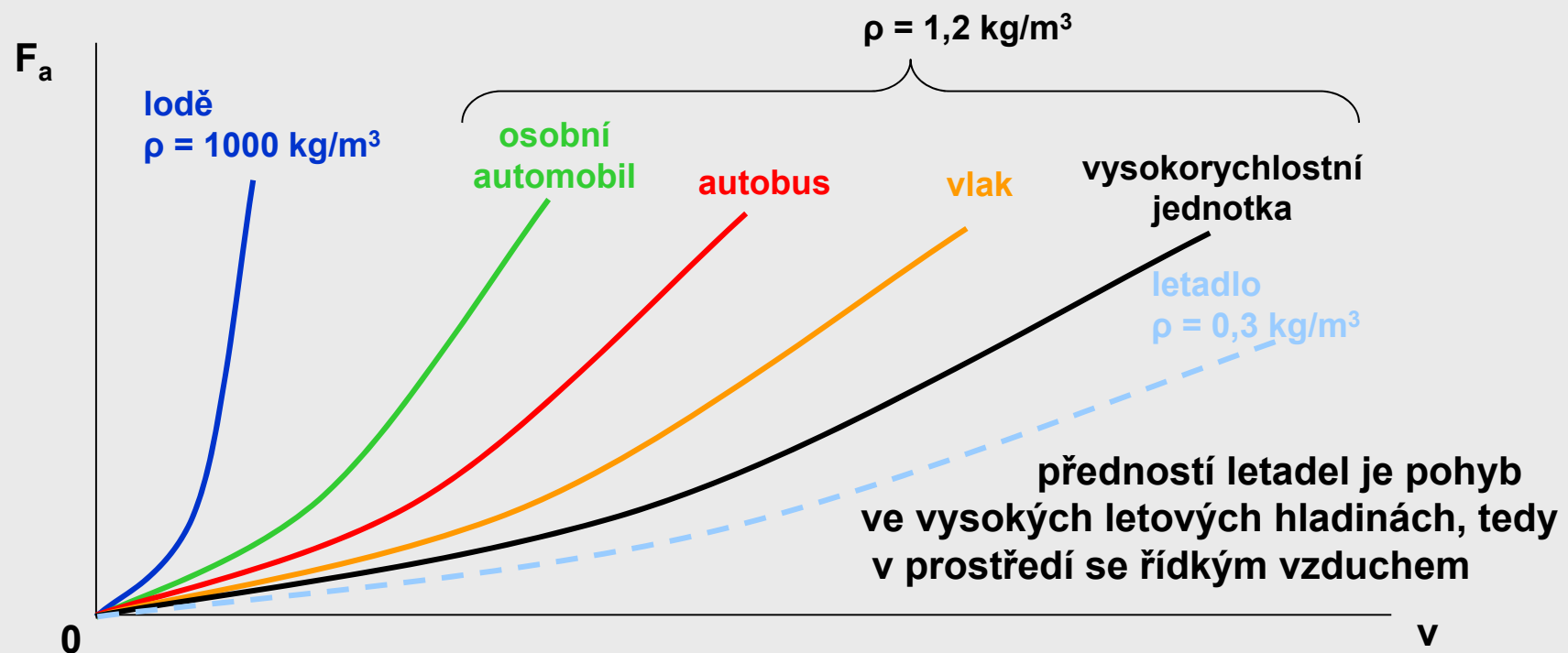


Energetická náročnost rychlého pohybu

Spotřeba energie k překonání odporu prostředí je úměrná 2. 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:



dlouhé lety:

- **cestovní rychlost je blízká rychlosti letu, která určuje aerodynamickou ztrátu,**
- **vytvořená kinetická energie (urychlení na cca 900 km/h) není dominantní složkou spotřeby,**
- **vytvořená potenciální energie (vystoupání do výšky 10 000 m) není dominantní složkou spotřeby.**

krátké lety:

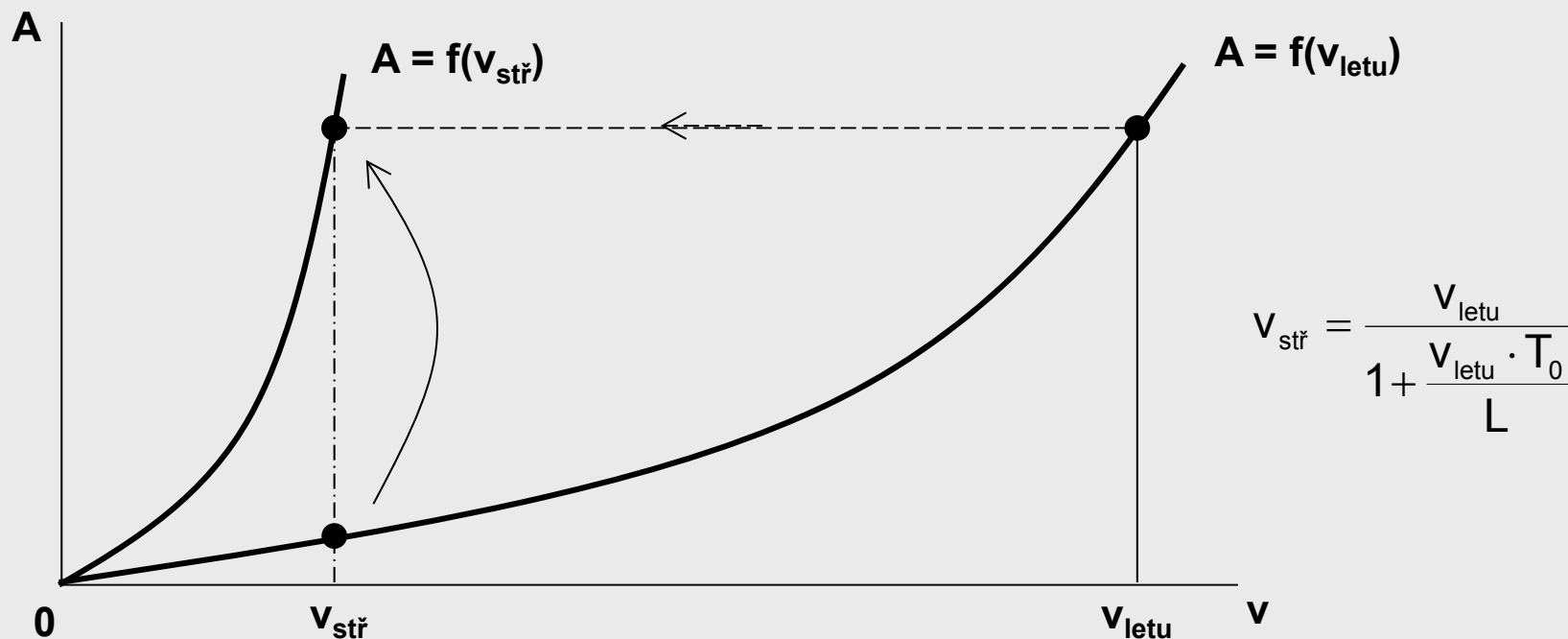
- **cestovní rychlost je podstatně nižší, než rychlost letu, která určuje aerodynamickou ztrátu,**
- **vytvořená kinetická energie (urychlení na cca 900 km/h) je dominantní složkou spotřeby,**
- **vytvořená potenciální energie (vystoupání do výšky 10 000 m) je dominantní složkou spotřeby.**

=> Letecká doprava je vhodná jen na dlouhé vzdálenosti.

Letadla

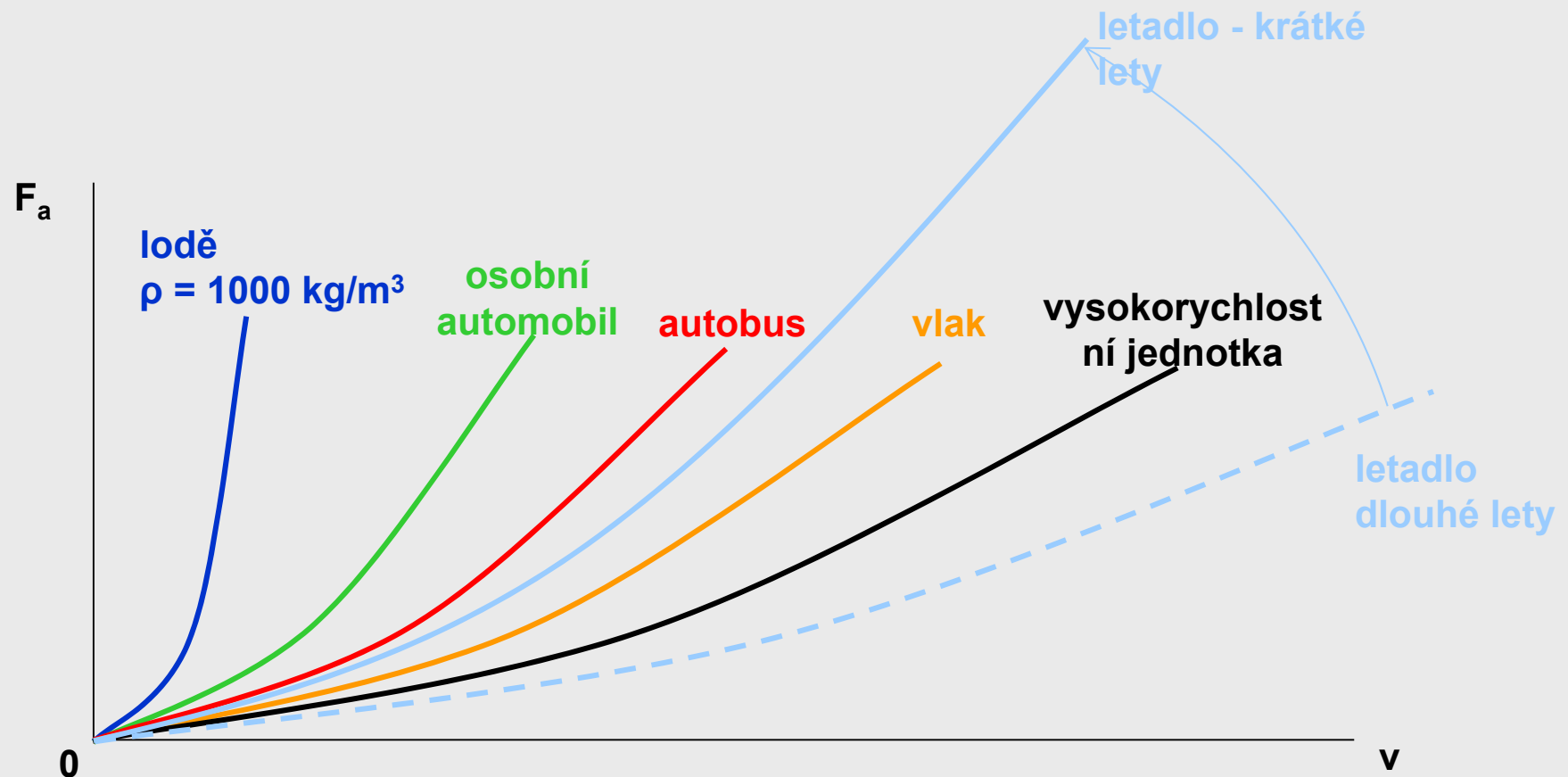
Nevýhoda letectví na krátké vzdálenosti:

- vlivem velkých ztrátových časů před odletem a po přiletu je výsledná střední přepravní rychlost výrazně menší než rychlost letu.
- ztráty však odpovídají druhé mocnině rychlosti letu.



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)

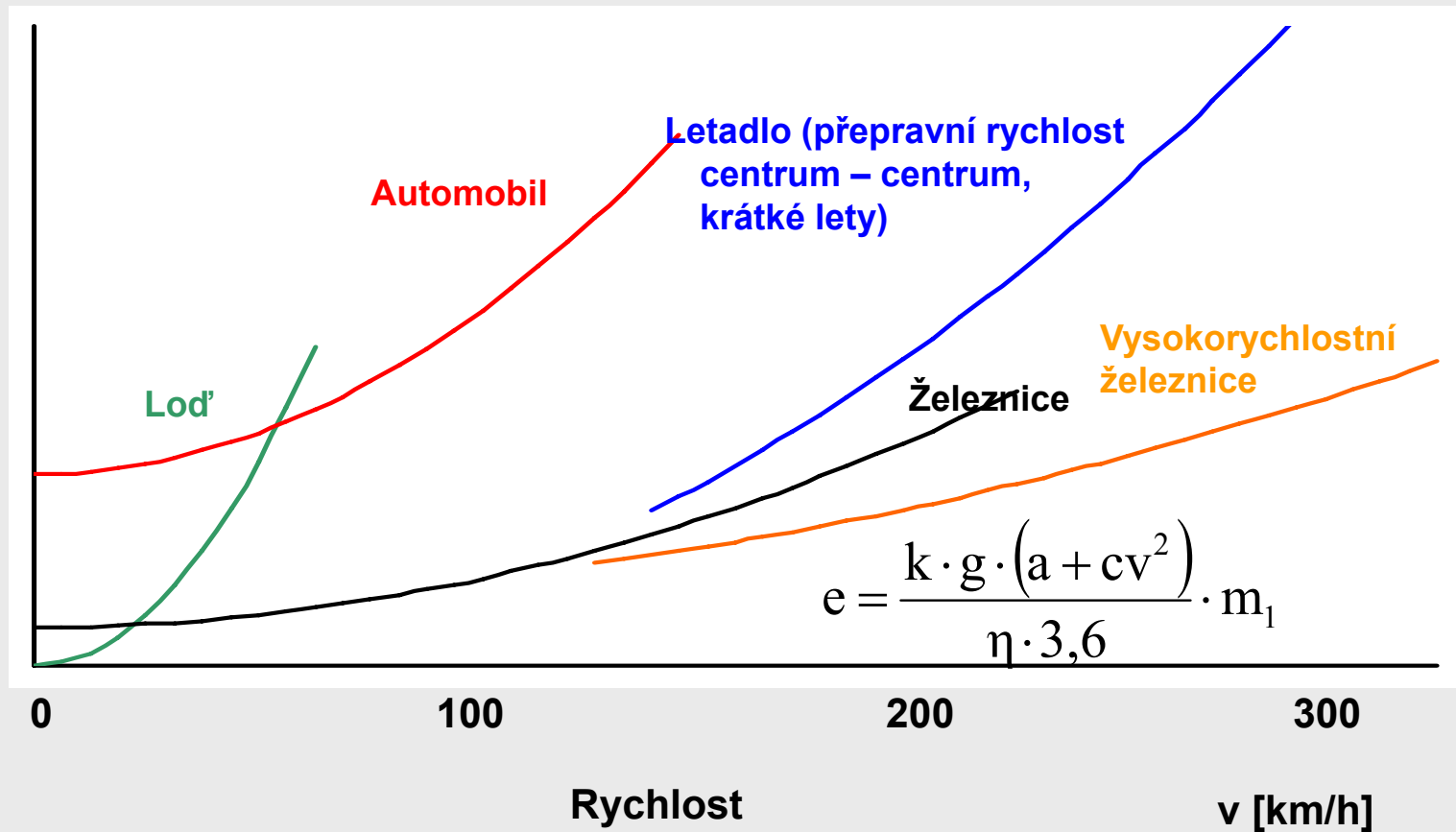


Vlivem odporu prostředí roste energetická náročnost mobility s rychlostí dopravy

SIEMENS

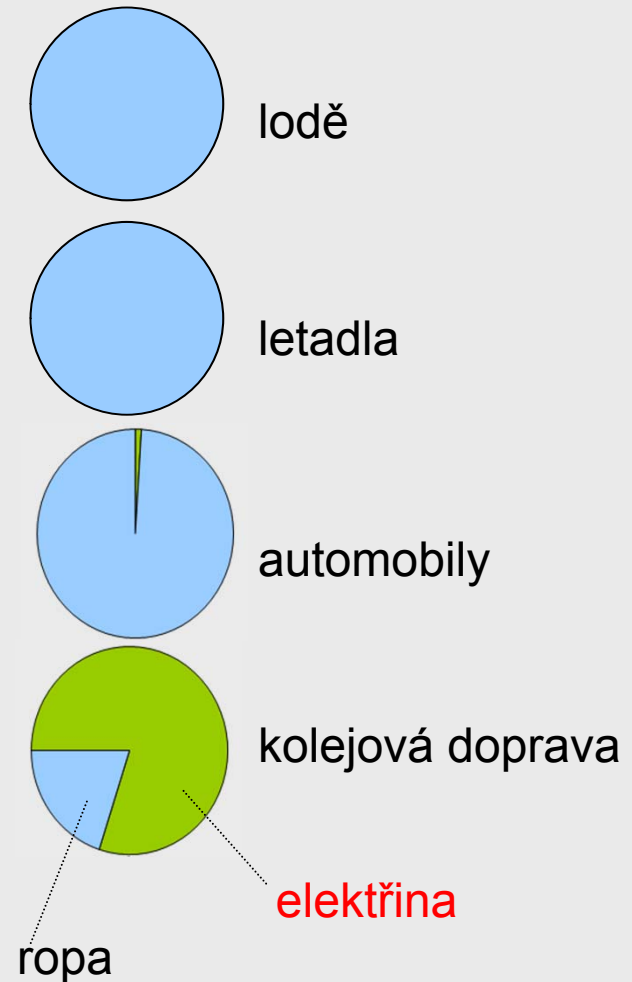
$\left[\frac{\text{kWh}}{\text{místo km}} \right]$

Měrná spotřeba energie

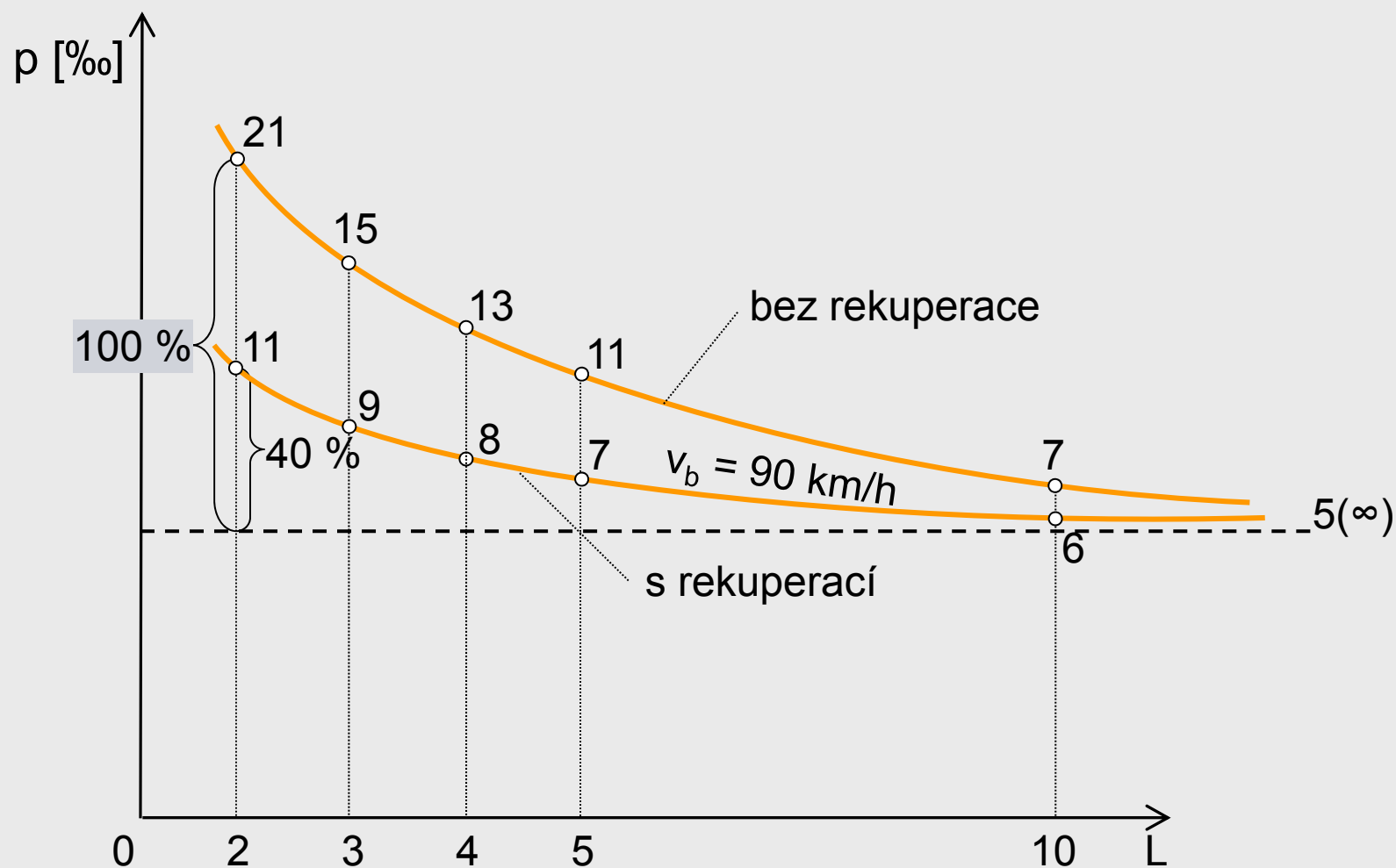


Závislost jednotlivých druhů dopravy na ropě

- **Lodní, letecká a z velké většiny i silniční doprava jsou z velké části závislé na kapalných uhlovodíkových palivech, tedy na ropě.**
- **V současnosti má (jen) kolejová doprava má vyřešený a hromadně zavedený systém jiného energetického zásobování, a to elektrickou vozbu.**



Vliv zastávek na spotřebu energie



Systémové výhody kolejové dopravy s elektrickou vozbou:

- **nízký valivý odpor (ocel – ocel),**
- **nízký aerodynamický odpor (schopnost tvořit vlak – jízda vozidel v zákrytu),**
- **nezávislost na kapalných uhlovodíkových palivech,**
- **možnost rekuperovat brzdovou energii.**

=>nízká energetická náročnost, nezávislost na ropě

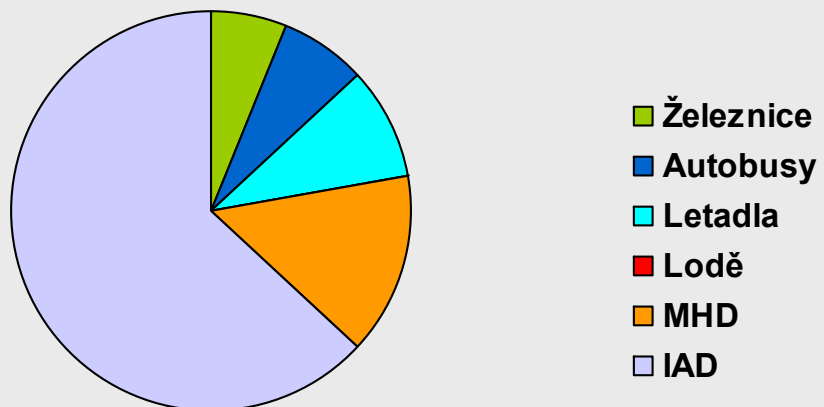
Avšak:

- **chtějí cestující a přepravci železnici používat?**
- **má jim železnice co nabídnout?**

Navzdory těmto přednostem není potenciál železnic využit.

SIEMENS

	přepravní výkon v ČR mil. os km / rok	%	délka jízdy občana za den km / den
Železnice	6 922	6,3	1,9
Autobusy	9 501	8,7	2,6
Letadla	10 233	9,3	2,8
Lodě	13	0,01	0,004
MHD	13 506	12,3	3,7
IAD	69 630	63	19,1
Σ	109 805	100	30,1



Preference železniční dopravy

Principy demokratické společnosti neumožňují ani dobré myšlenky prosazovat restrikcemi.

Jedinou cestou ke zvýšení podílu železnice je pozitivní motivace obyvatelstva kvalitní nabídkou:

- **rychlost**
- **četnost spojů**
- **dostupnost**
- **pohodlí**
- **bezpečnost**
- **využití času stráveného cestováním**

Nástroje ke zlepšení kvality železniční dopravy

Infrastruktura:

- nové tratě,
- modernizace tratí,
- zvyšování traťové rychlosti
- moderní sdělovací a zabezpečovací technika
- elektrizace tratí
- vysoká nástupiště
- přestupní terminály a parkoviště

Provozní koncepce:

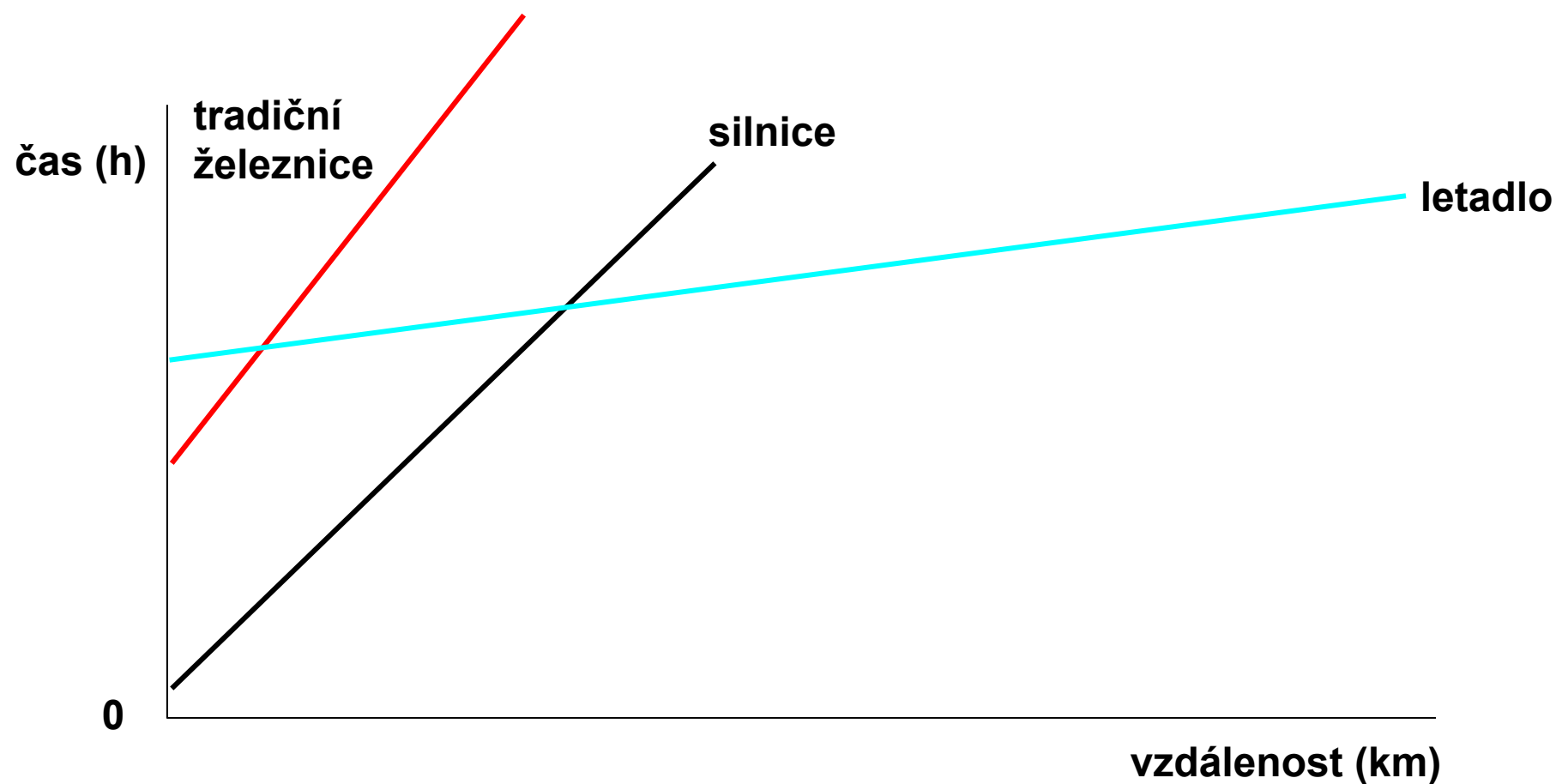
- soustředění se na důležité tratě s potenciálem přepravní poptávky
- integrální taktový jízdní řád
- provázané přípoje a přestupy

Vozidla:

- vysoká bezpečnost a spolehlivost
- rychlé a pohodlné cestování
- nízké provozní náklady
- pohodlí, čistota a vlídnost

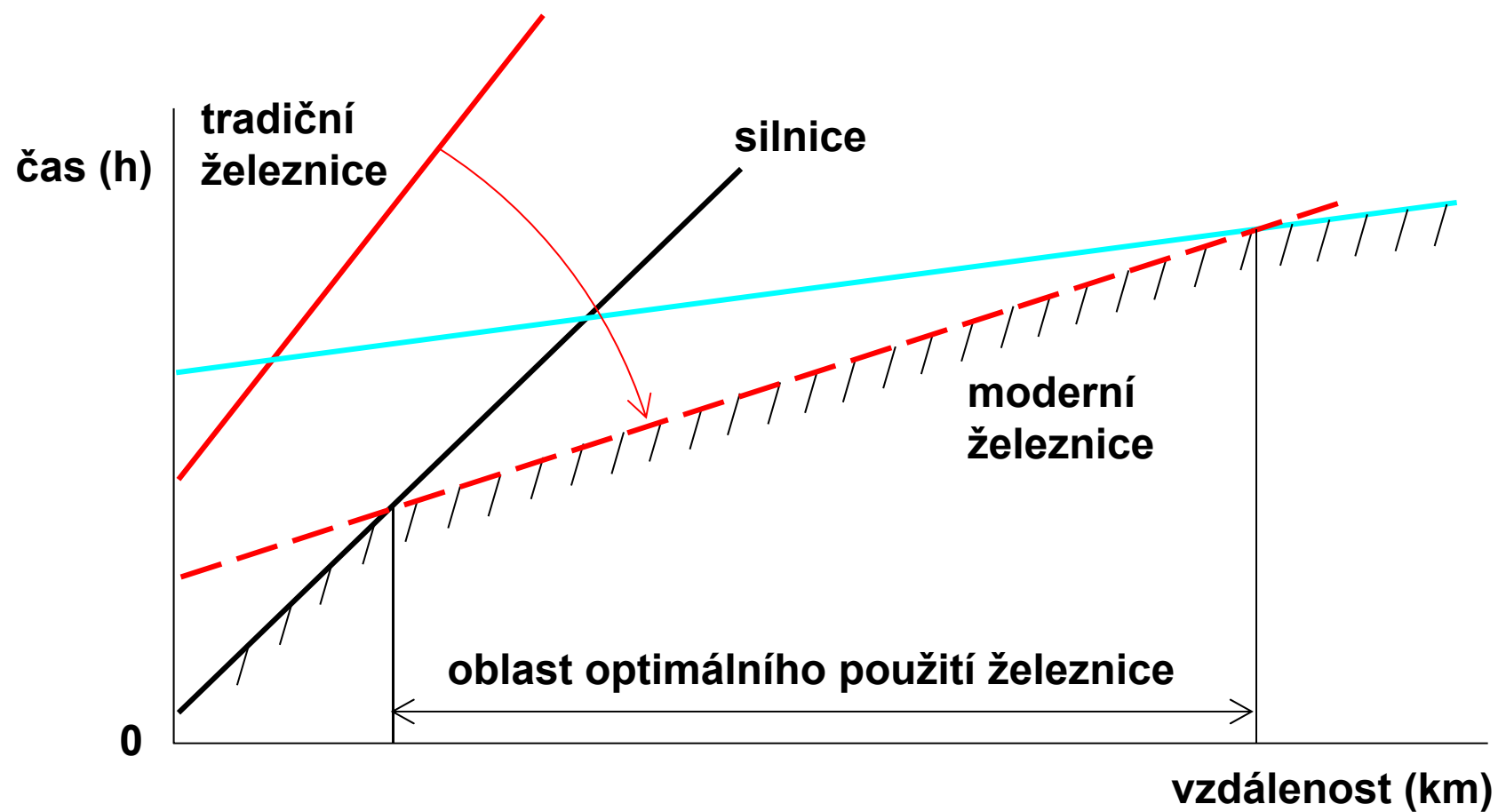
Tradiční železnice (tratě z 19. století, vozidla ze 70. let minulého století) není atraktivní.

SIEMENS



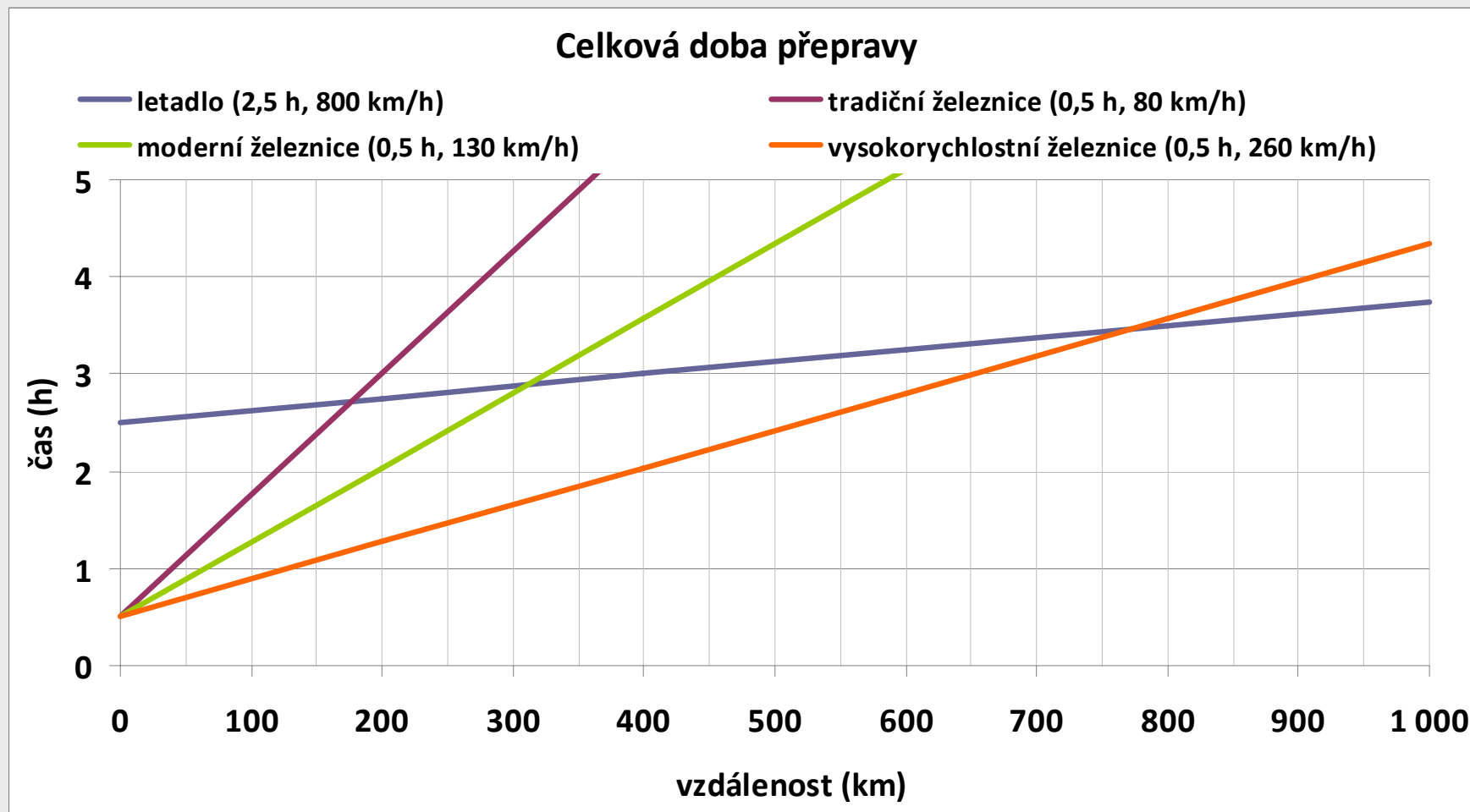
Požadavek cestujících: Vlaky musí jezdit často a rychle

SIEMENS



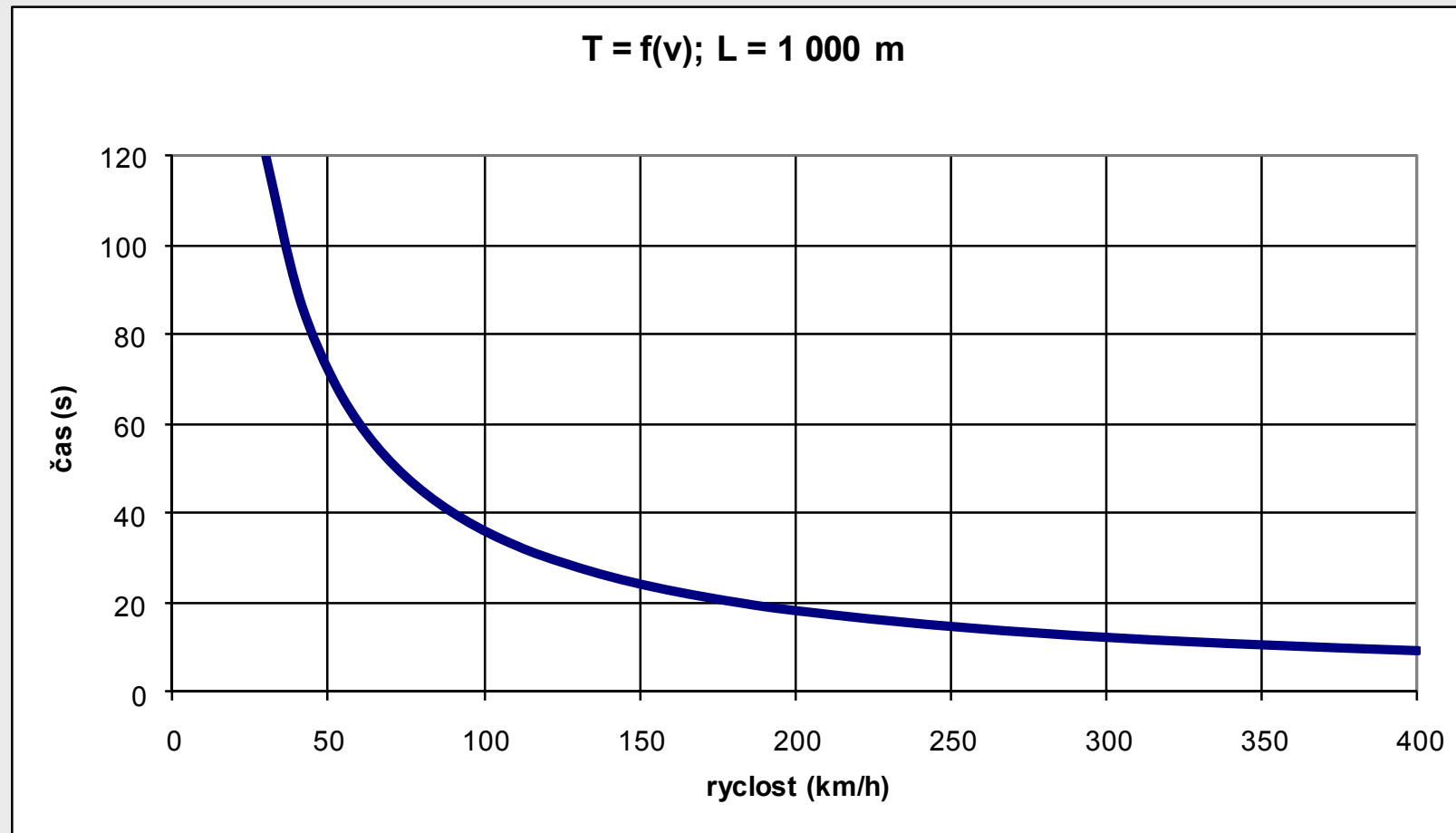
Dvě fáze: 1. modernizace tratí 2. nové vysokorychlostní tratě

SIEMENS



Hyperbola je neúprosná – čas běží nejrychleji při jízdě nízkou rychlostí

SIEMENS

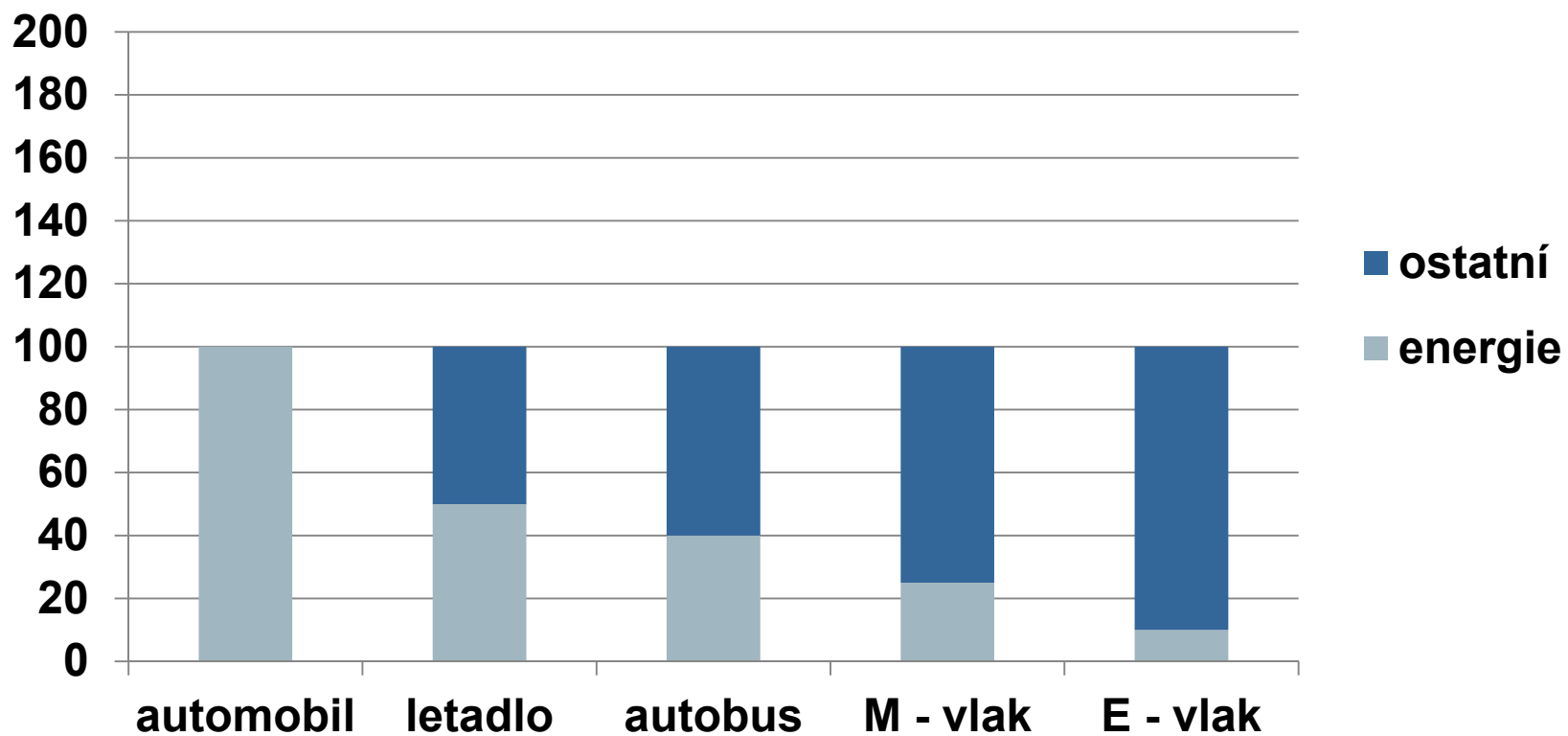


Náklady na dopravu – vyrovnaný výchozí stav

(automobil – pohonné hmoty jako jediný vnímaný přímý náklad)

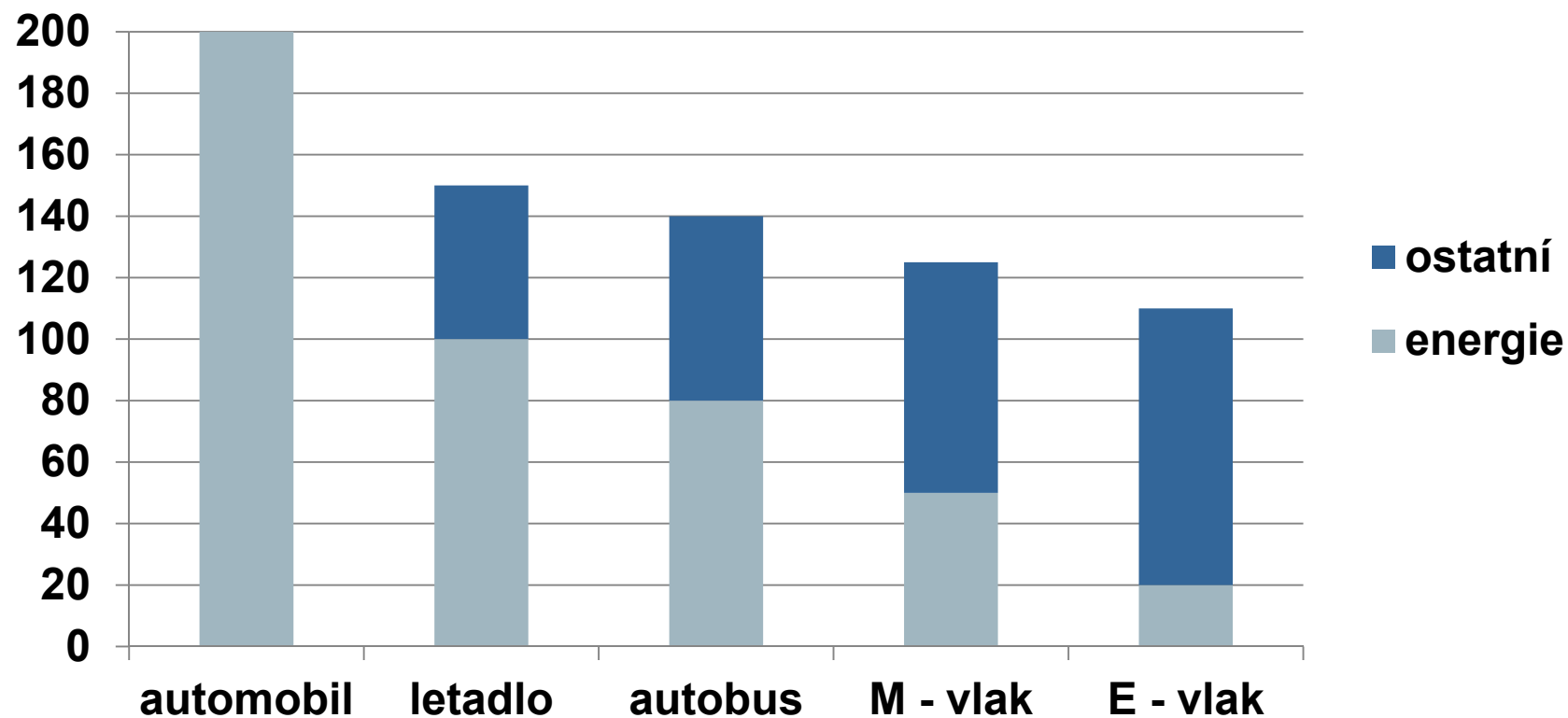
SIEMENS

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



Rozvoj dopravní infrastruktury

Diskuse o prioritách v oblasti dopravní infrastruktury:

- má smysl rozvíjet letiště a napojovat je na železnici, když je cílem, aby rychlá železniční doprava převzala lety po Evropě?**
- má smysl budovat říční vodní dopravu, když souběžně s řekami vedou železnice, které jsou energeticky méně náročné, než plavba a nepotřebují kapalná paliva?**
- má smysl zvyšovat kapacitu dálnice D1, když vysokorychlostní železnice dokáže přepravit cestující do Brna do Prahy za 1 h a při spotřebě pouhých 10 kWh na sedadlo?**

Rozvoj dopravní infrastruktury

Diskuse o prioritách v oblasti železniční infrastruktury:

- mám smysl udržovat provozuschopnost tratí s minimální poptávkou po přepravě?**
- je rozumné modernizovat historické tratě, nebo je levnější a účelnější ponechat je místní obsluze a vedle nich postavit pro dálkovou dopravu tratě nové?**

Důvod stavby nových tratí

- 1. Posílení kapacity dopravní cesty na příměstských tratích, přetížených souběhem dálkové i regionální osobní a nákladní dopravy,**
- 2. Nabídka rychlé dopravy osob a kusových zásilek v rámci státu**
- 3. Nabídka rychlé dopravy osob a kusových zásilek v rámci Evropy**
- 4. Nabídka rychlé dopravy osob a kusových zásilek mezi Evropou a Asií**

Kombinace konvenční (CR) a vysokorychlostních (HS) železnic



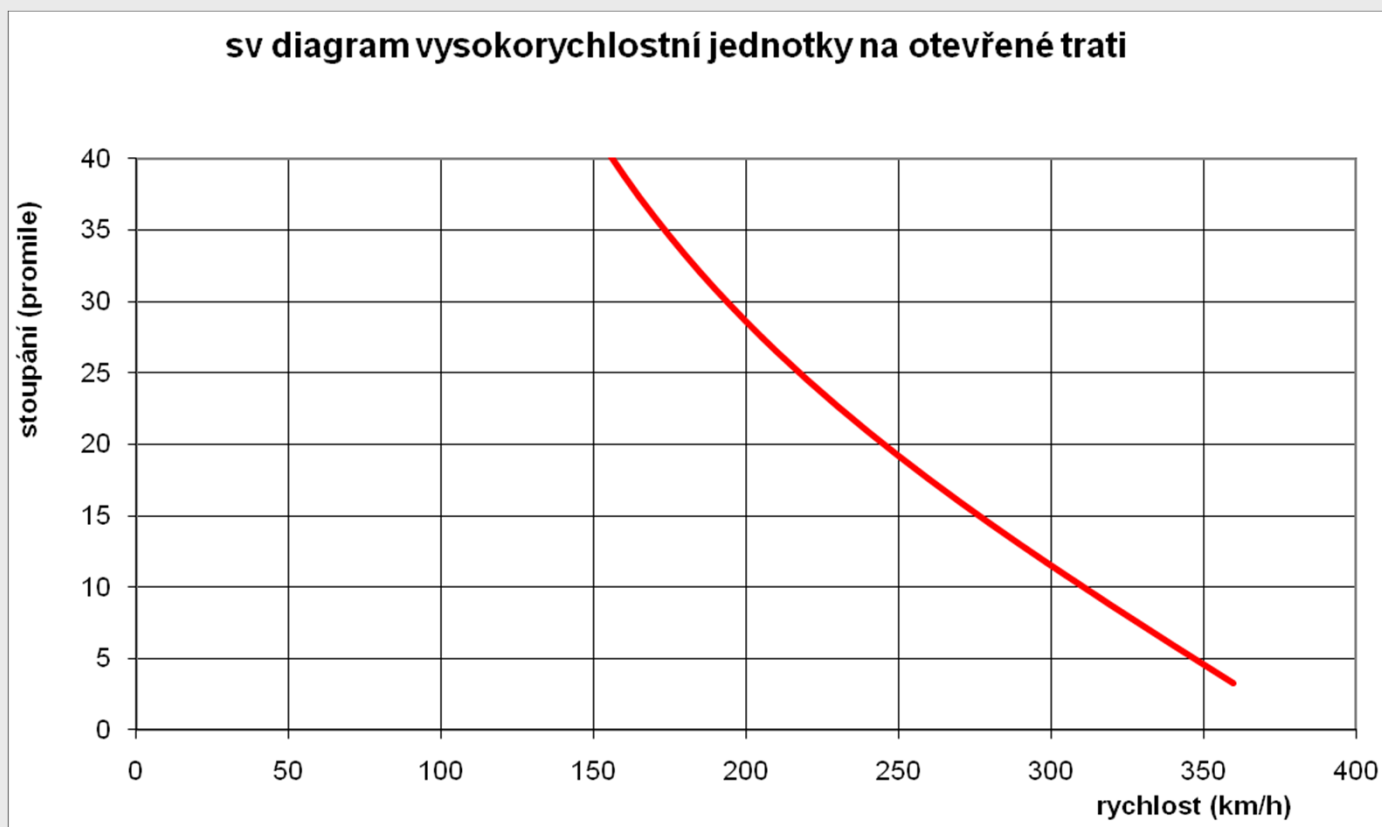
HS tratě – rychlá dálková osobní doprava,

CR tratě – uvolněny pro místní osobní dopravu a pro nákladní dopravu,

Společně:

- **nenarušení konvenčního provozu při výstavbě HS tratí,**
- **celkové zvýšení kapacity dopravních cest,**
- **redundance,**
- **přechodnost HS vozidel i na CR tratě.**

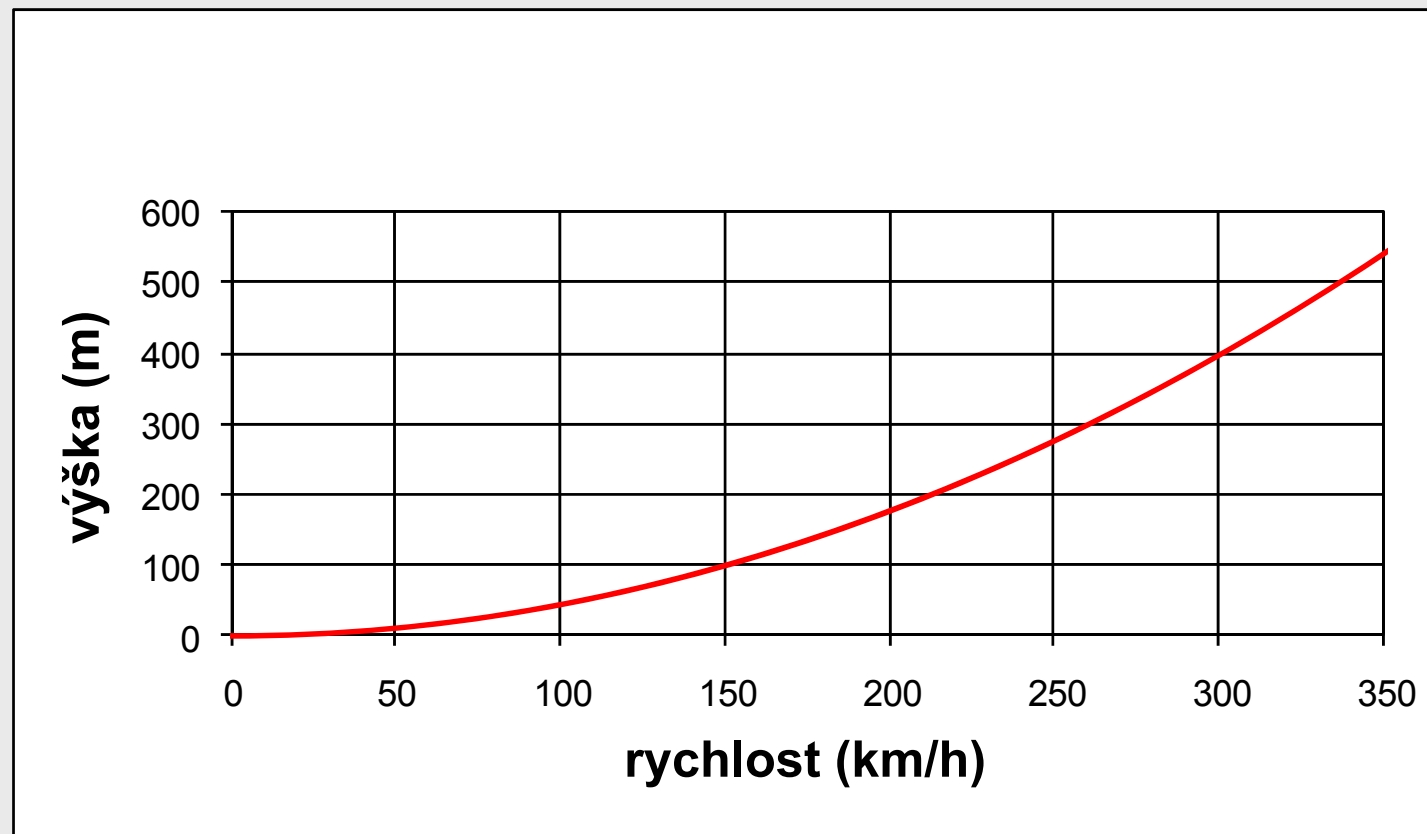
Zvládnutí velkých stoupání: a)staticky – velkým měrným výkonem



Zvládnutí velkých stoupání: b) dynamicky – velkou rychlostí

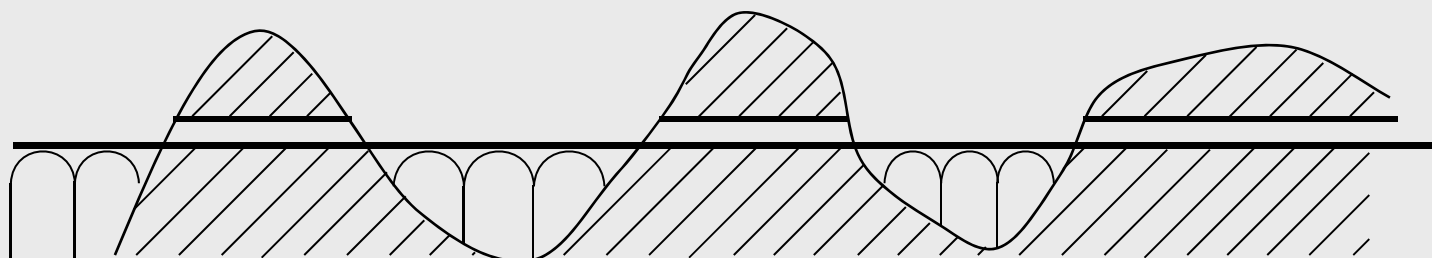
vlak jedoucí rychlostí 300 km/h má energii odpovídající virtuální výšce:

$$h = \frac{0,5 \cdot \xi \cdot v^2}{g} = \frac{0,5 \cdot 1,1 \cdot 300^2}{3,6^2 \cdot 9,81} = 389 \text{ m}$$

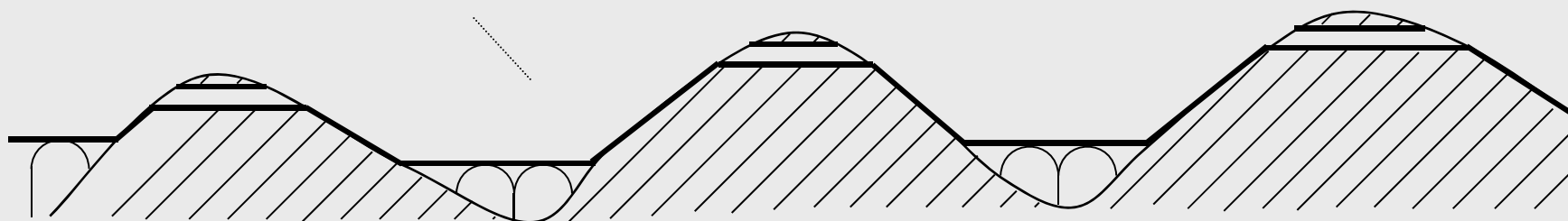


Úspora nákladů při stavbě trati

univerzální trať ($s_{\max} \doteq 10\text{‰}$)



trať pro vysokorychlostní vozidla ($s_{\max} \doteq 35\text{‰}$)



Periodické změny kinetické a potenciální energie

$$E_{k_1} = \frac{1}{2} \xi \cdot m \cdot v_1^2 \quad E_{k_2} = \frac{1}{2} \xi \cdot m \cdot v_2^2$$

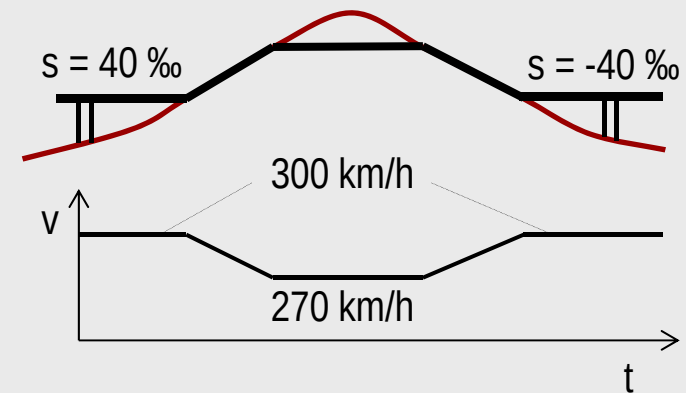
$$\Delta E_k = E_{k_1} - E_{k_2} = \frac{1}{2} \xi \cdot m \cdot (v_1^2 - v_2^2)$$

$$\Delta E_p = m \cdot g \cdot \Delta h = m \cdot g \cdot s \cdot L$$

$$v_1 = 300 \text{ km/h} \quad v_2 = 270 \text{ km/h}$$

$$\Delta h = \frac{\xi(v_1^2 - v_2^2)}{2g} = \frac{1,1 \cdot (300^2 - 270^2)}{3,6^2 \cdot 2 \cdot 9,81} = 74 \text{ m}$$

$$L = \frac{\Delta h}{s} = \frac{74}{0,04} = 1850 \text{ m}$$



$$\left(\xi = \frac{m_r + m}{m} = 1,1 \right)$$

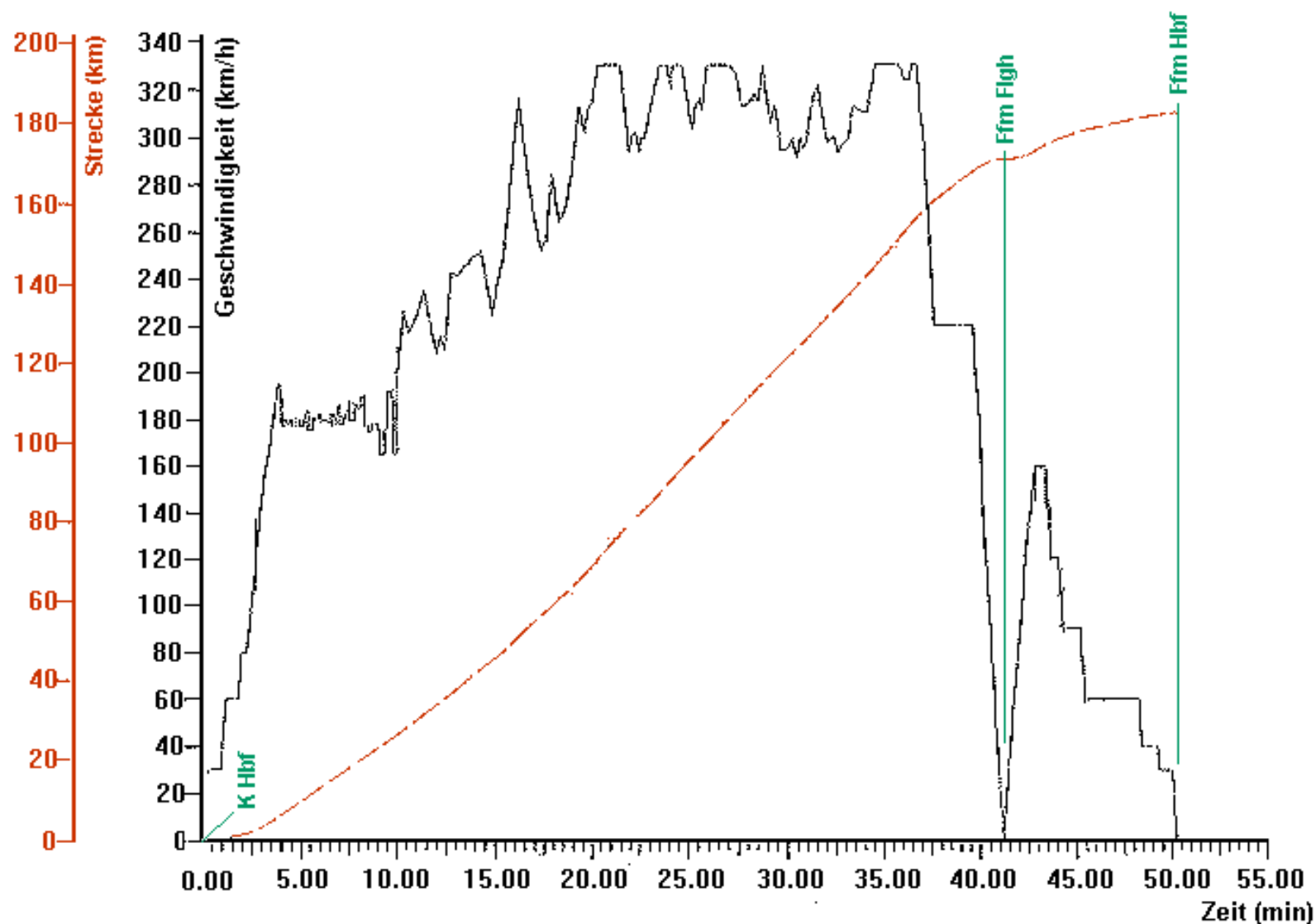
=> kinetická energie umožňuje vlaku překonat terénní vlny

Vysokorychlostní trať ICE 3 na vysokorychlostní trati Köln - Frankfurt

SIEMENS

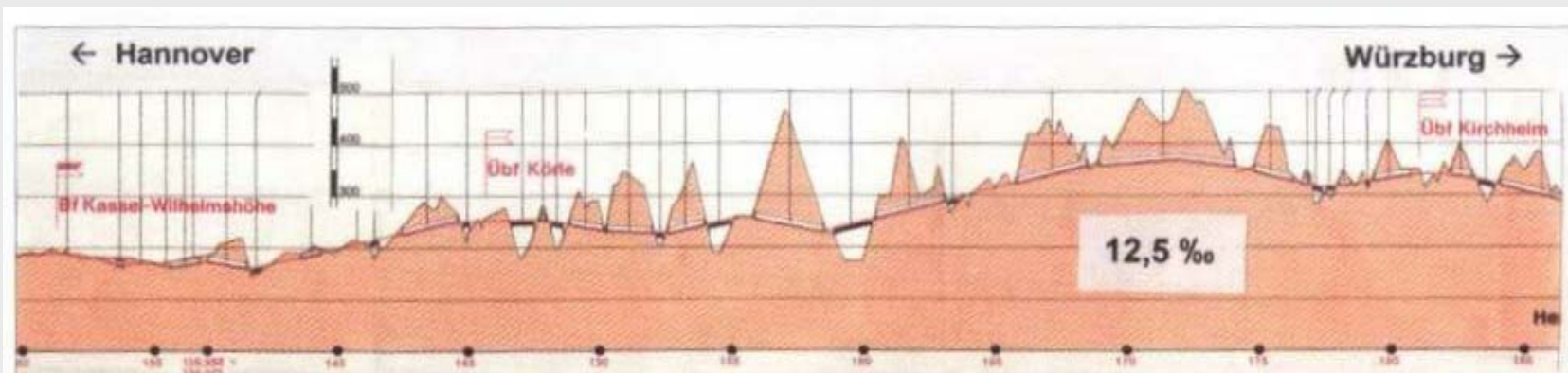


Rychlostní profil trati Köln - Frankfurt

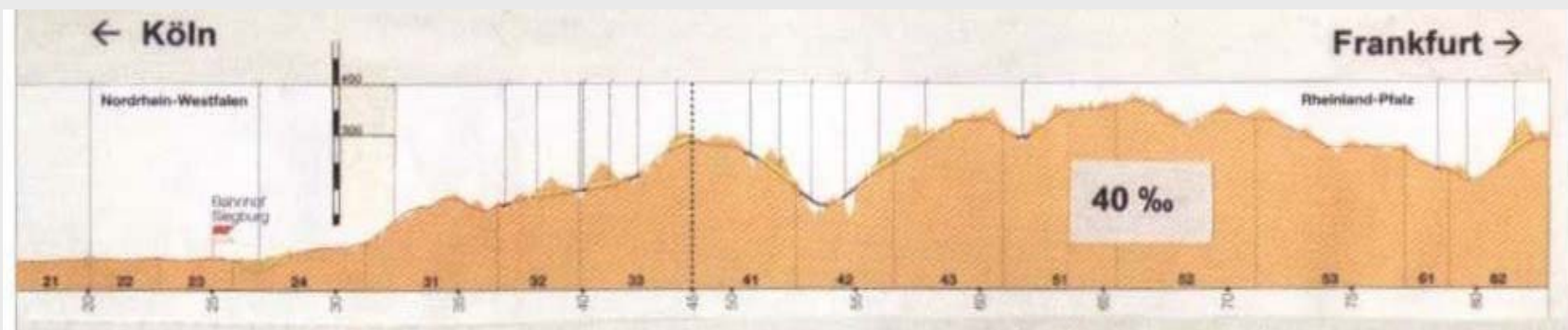


Úspora náročnosti staveb použitím velkého sklonu

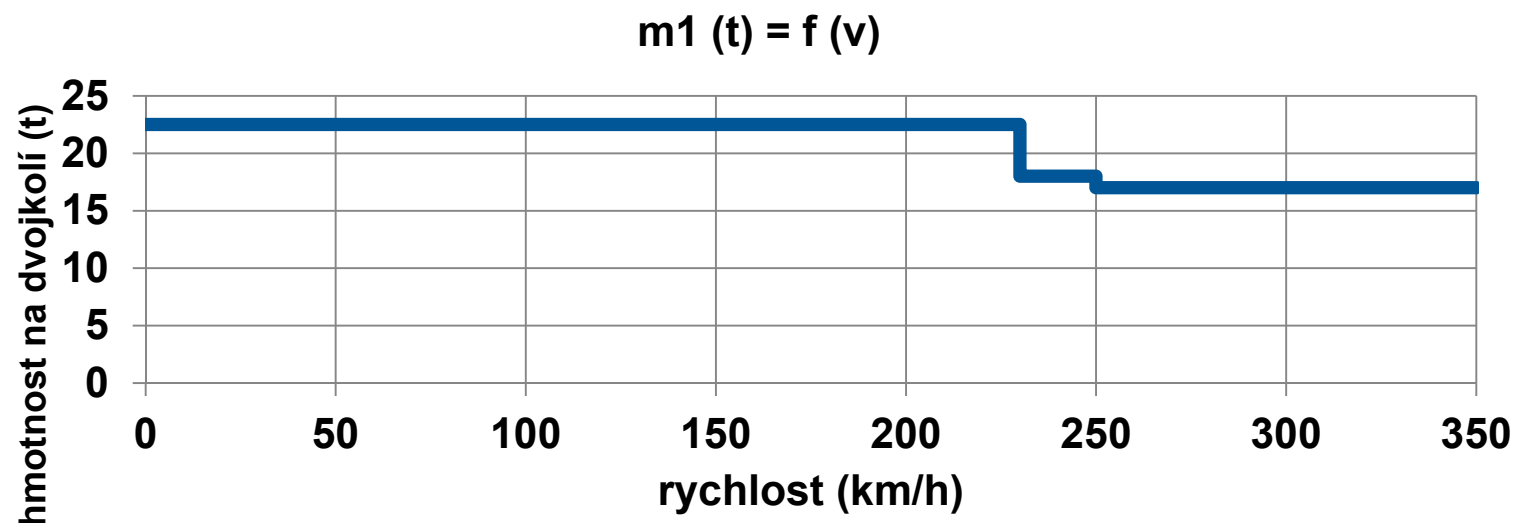
Trať s maximálním sklonem 12,5 ‰ => převládají mosty a tunely



Trať s maximálním sklonem 40 ‰ => méně mostů a tunelů



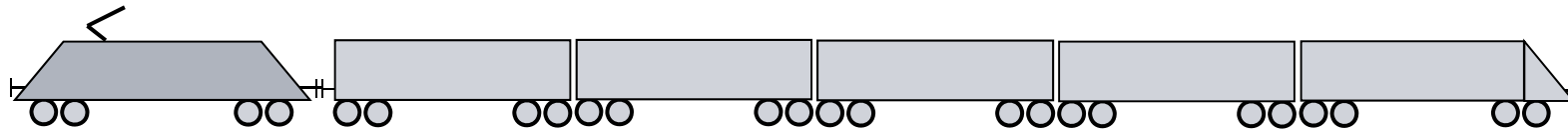
Požadavky TSI HS RST na vozidla a jejich plnění



v	km/h	230	249	350
m_1	t	22,5	18	17
měrný výkon	kW/t	13	15	20
pohon		lokomotiva	distribuovaný	distribuovaný
délka vozu	m	26,4	28	25
materiál skříně		ocel	ocel	hliník

Vozidla třídy 2 (22,5 t, 230 km/h): Viaggio

Lokomotiva plus ucelená souprava vozů zakončená řídícím vozem



Cíl:

- využít předností ucelených jednotek i předností vlaků s lokomotivami

Výhody:

- jednoduchá konstrukce (zvláště lokomotiva, zvláště vozy),
- jednoduchá údržba (zvláště lokomotiva, zvláště vozy),
- variabilita (počtu a typu vozů, typu lokomotivy),
- komfort ve vozech – využití předností ucelených jednotek (tichý a klidný vnitřní prostor)
- nízká spotřeba energie – dokonalá aerodynamika.

Oblast použití:

- EC/IC vlaky na dopravně silněji zatížených modernizovaných tratích

Viaggio Comfort - ÖBB railjet

Optimální řešení pro modernizované tratě.

Vlak, který umí nabídnout cestujícím více, než dokáže automobil.



Viaggio Comfort - ÖBB railjet

SIEMENS



Vozidla třídy 1 (17 t, 350 km/h): Velaro

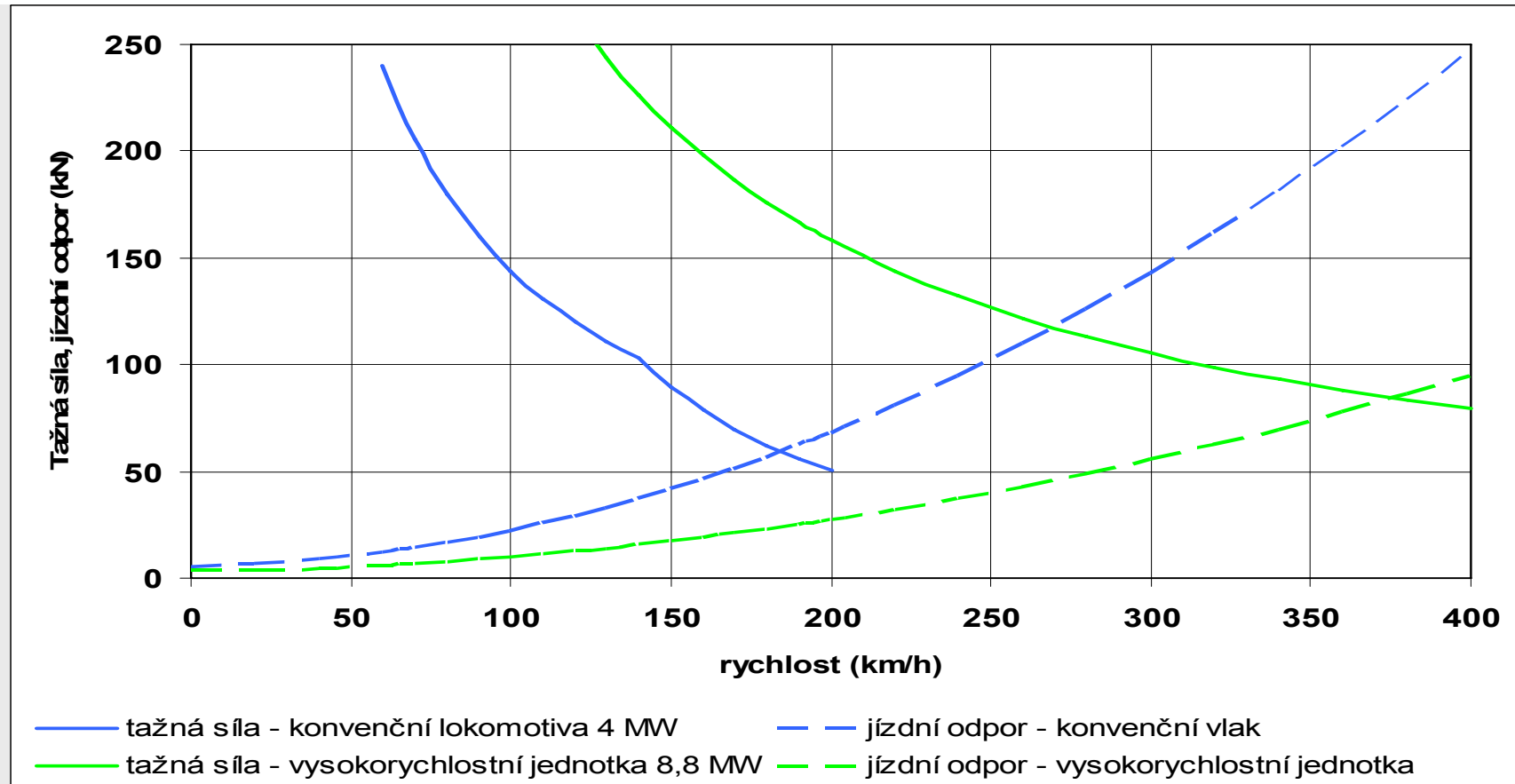


Velaro E

Trakční mechanika vysokých rychlostí

- Jízdní odpor rychle jedoucího vlaku je tvořen zejména jeho aerodynamickým odporem ($w = a + c \cdot v^2$)
- Výkon je dán součinem síly (jízdního odporu) a rychlosti a roste tedy se třetí mocninou rychlosti ($P = k \cdot v^3$)
- Avšak pro zdvojnásobení rychlosti (například ze 160 na 320 km/h) je nereálné opatřit vozidla osmkrát výkonnějším trakčním pohonem.
- => je nutností zabývat se aerodynamikou a výrazně snížit odpor vozidla (nikoliv osmkrát vyšší výkon, ale cca dvakrát vyšší výkon v kombinaci se čtyřikrát příznivějším aerodynamickým tvarem),
- => doprovodný, ale mimořádně cenný efekt: nízká energetická náročnost vysokorychlostní železniční dopravy.

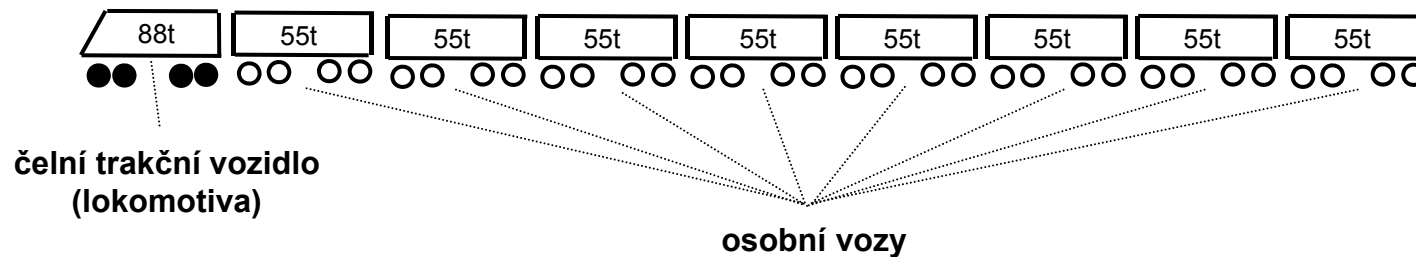
Trakční charakteristika a jízdní odpor



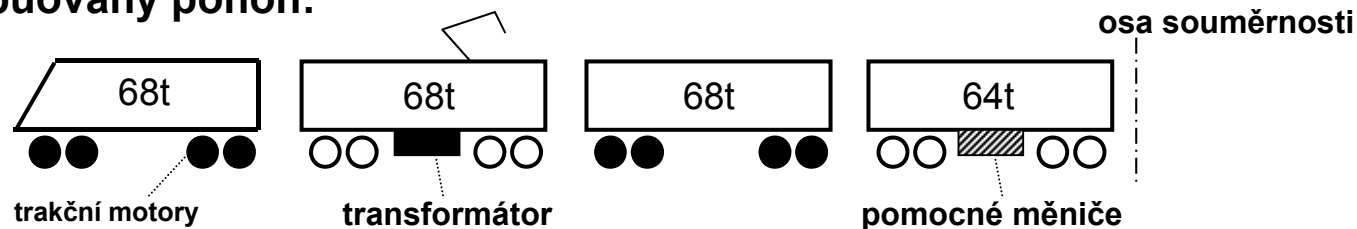
- **Důsledek: aerodynamicky řešená vysokorychlostní jednotka jedoucí rychlostí 270 km/h má zhruba stejnou spotřebu energie, jako tradiční vlak jedoucí rychlostí 160 km/h.**

Distribuovaný pohon

konvenční řešení:



distribuovaný pohon:



- ⇒ vyšší (100 %) využití prostoru (délky) pro cestující
- ⇒ nižší limit hmotnosti na dvojkolí (17 t)
- ⇒ vyšší trakční výkon (20 kW/t)
- ⇒ vyšší podíl elektrodynamické (rekuperační) brzdy
- ⇒ vyšší akcelerace, neboť 50 % dvojkolí je poháněno
- ⇒ redundance trakčních a pomocných pohonů (dvě symetrické poloviny) – TSI SRT tunely kategorie B, plus vysoká spolehlivost - nízký počet neschopností k jízdě)

Vysokorychlostní jednotka Sapsan (Velaro RUS)



Vstříc k cestujícím



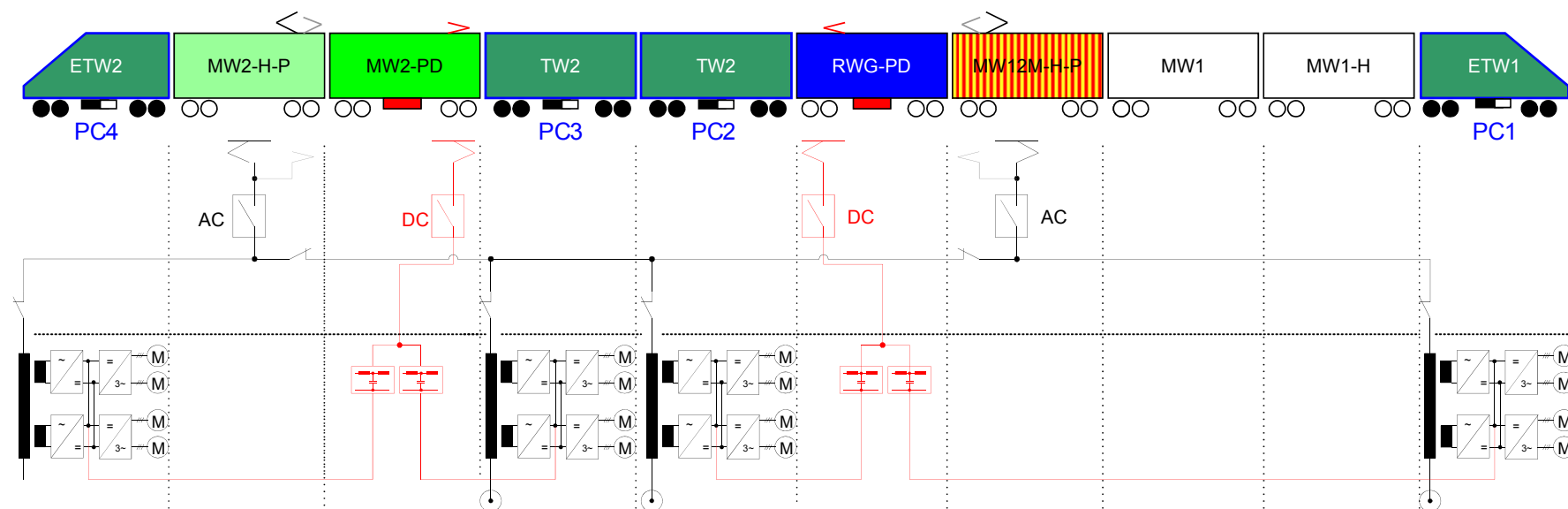
Velaro D

**Vozidla třídy 2 (18 t, 249 km/h):
Elektrická jednotka DB ICx
(délka 200 m: nikoliv 8 x 25 m, ale 7 x 28 m)**

SIEMENS



Uspořádání vícesystémové jednotky K3n pro 230/249 km/h



Design to cost

Přechod z kategorie 350 km/h do kategorie 249 km/h:

pomalejší vlak ujede denně menší vzdálenost, proto musí být levnější

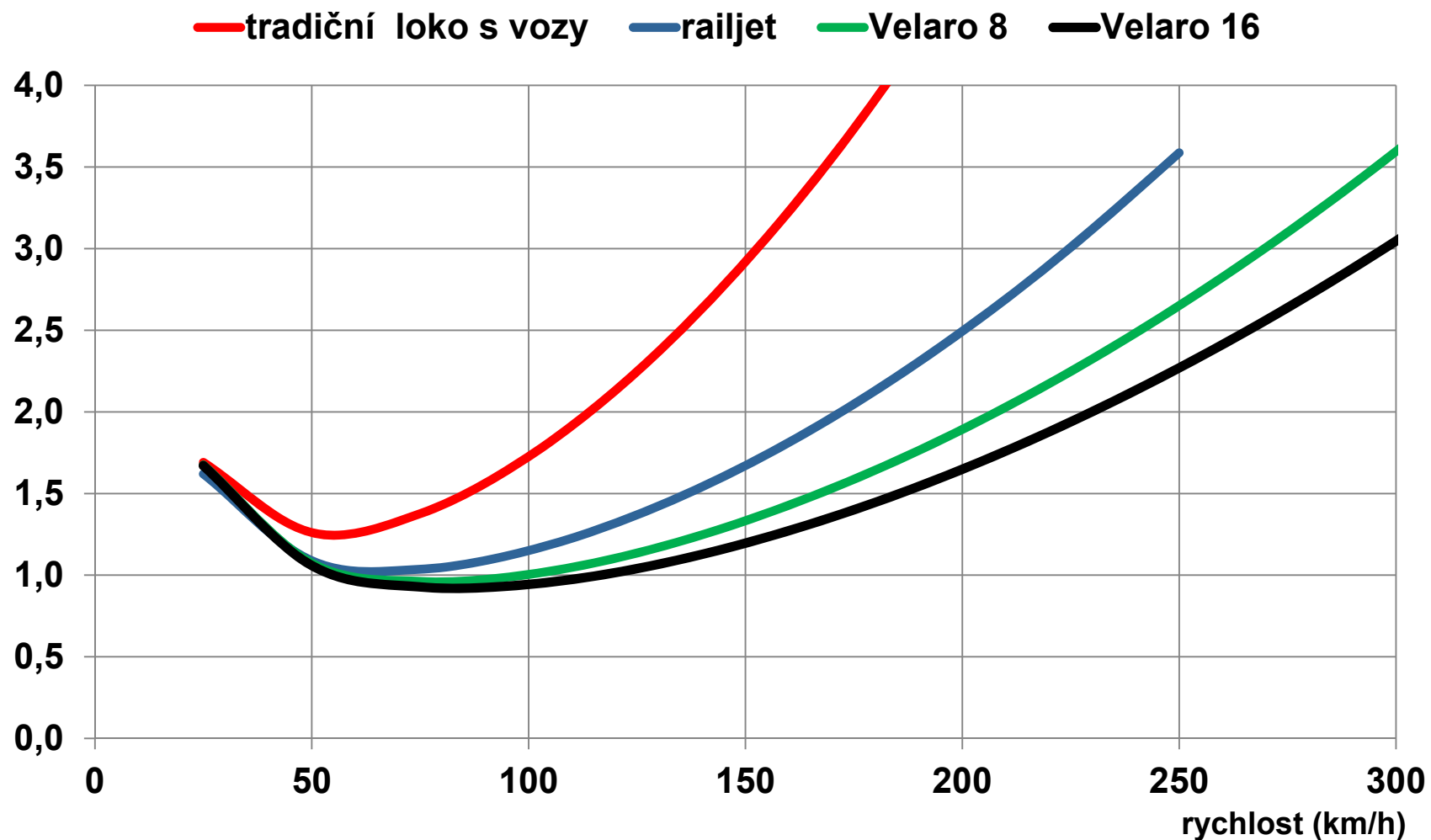
Vozidla třídy (17t, 350 km/h)
Velaro UK Eurostar – 16 vozů, 400 m

SIEMENS



Spotřeba elektrické energie v přepočtu na sedadlo (kWh/km)

SIEMENS



Také Česká republika je součástí Evropy

Je potřebné, aby byla i součástí evropské železnice

Děkuji Vám za Vaši pozornost

