



Fakulta dopravní
Ústav dopravní telematiky

Systemová hlediska čisté mobility

Zdeněk Votruba

votruba@iss.fd.cvut.cz

zdevo@ieee.org

SEMINÁŘ „ČISTÁ MOBILITA“
BRNO 2013-10-10 MŽP ČR

Mobilita je komplexní systém

To není banální novinářský titulek, ani „vynález kola“ ale dominantní charakteristika oboru. **Proč?**

1. **Relace, vazby, interakce – „provázanost“ - jsou podstatně významnější, než samy systémové prvky. Rozhodují o efektech.**
2. Vyším systémem (systémovou aliancí) je město / region .. / Země
3. Spolupracujícími, často těsně integrovanými systémy jsou sítě energetické, telekomunikační a infromatické systémy, systémy rozvodu vody, svozu / recyklace odpadů,.. v další řadě i vše to, co zahrnujeme do správy a krizového řízení.
4. Spolehlivost a bezpečnost též více závisejí na relacích, než na vlastnostech prvků.
5. Komplexní systém nelze zvládnout hrubou silou, má svá specifika, např. „rozmazanou evidenci“ (L. Zadeh), nebo emergence
6. **Funkce systému hodnotíme efektivitou (funkce / cena), bezpečností, spolehlivostí, robustností, citlivostí na změny okolí, udržitelností a dopady na prostředí.**



Některá data a pojmy

Na mobilitu (lidí, zboží, informace) se vynakládá více než **1/3** energetické spotřeby lidstva. Odpovídající průměrný příkon je cca 5 TW. (ČR: 10GW)

Čistotu mobility určujeme podle čistoty energie, která se spotřebuje (transformuje / degraduje).

→ Udržitelná energie (SE) ↔ energie, která plní potřeby současnosti, aniž by znehodnotila možnosti budoucích generací

→ Obnovitelná energie ↔ obnoví se během času, který odpovídá lidskému životu + nezpůsobuje dlouhodobé poškození životního prostředí

→ Zelená energie (GE) := udržitelná energie, která může být získávána, generována a užívána bez významných (?) negativních vlivů na životní prostředí.

→ Pojem čisté energie (⇒ čisté mobility) nemá „hard“ definici ani na úrovni předchozích definic. Smysl má spíše komparativní. Např. energie uvolněná spalováním plynu je zpravidla čistší, než energie uvolněná spalováním uhlí, i když ani jedna z nich není obnovitelná, zelená, ani udržitelná. Srovnávají se dopady na životní prostředí a zdraví.

Kvantifikace těchto dopadů je zatížena neurčitostí resp. neznalostí.



Globalní energetická rovnováha – vstupy [5]

Sluneční radiace, vstupující do atmosféry $\approx 173 \text{ PW}$.
(99.97%, $\Rightarrow 340 \text{ W m}^{-2}$)

Tok energie ze slunce je v globálním měřítku velmi stabilní, kolísání během cyklů sluneční aktivity je cca 0.1%

Z toho:

- ✓ Větrná energie ($< 0.01\% \rightarrow 72 \text{ TW}$)
- ✓ Vodní (řeky) ($< 0.001\% \rightarrow 7 \text{ TW}$)
- Geotermální energie ($\rightarrow 45 \text{ TW}; \Rightarrow 0.08 \text{ W m}^{-2}$)
- Přílivová energie ($\rightarrow 3 \text{ TW}; \Rightarrow 0.0059 \text{ W m}^{-2}$)
- **Potřeba lidstva: 15 TW**
- Ztrátové teplo ze spalování fosilních paliv (**0.007%, $\rightarrow 13 \text{ TW}; \Rightarrow 0.025 \text{ W m}^{-2}$**)



Členění energií pro dopravu



Druhy energie, použité (degradované) v dopravě se člení do 2 základních tříd: př.

1. **Energie, využitá k pohybu**, dále dělená na složky:

- ✓ zřídlo → nádrž
- ✓ Nádrž → kolo

2. **Energie, vynaložená na produkci, údržbu resp. recyklaci zdrojů, vozidel a infrastruktury.**

Další členění je podle místa impaktů do prostředí: - př.

- a) Lokální
- b) Spojité (globální)

podle možnosti uskladnění: př.

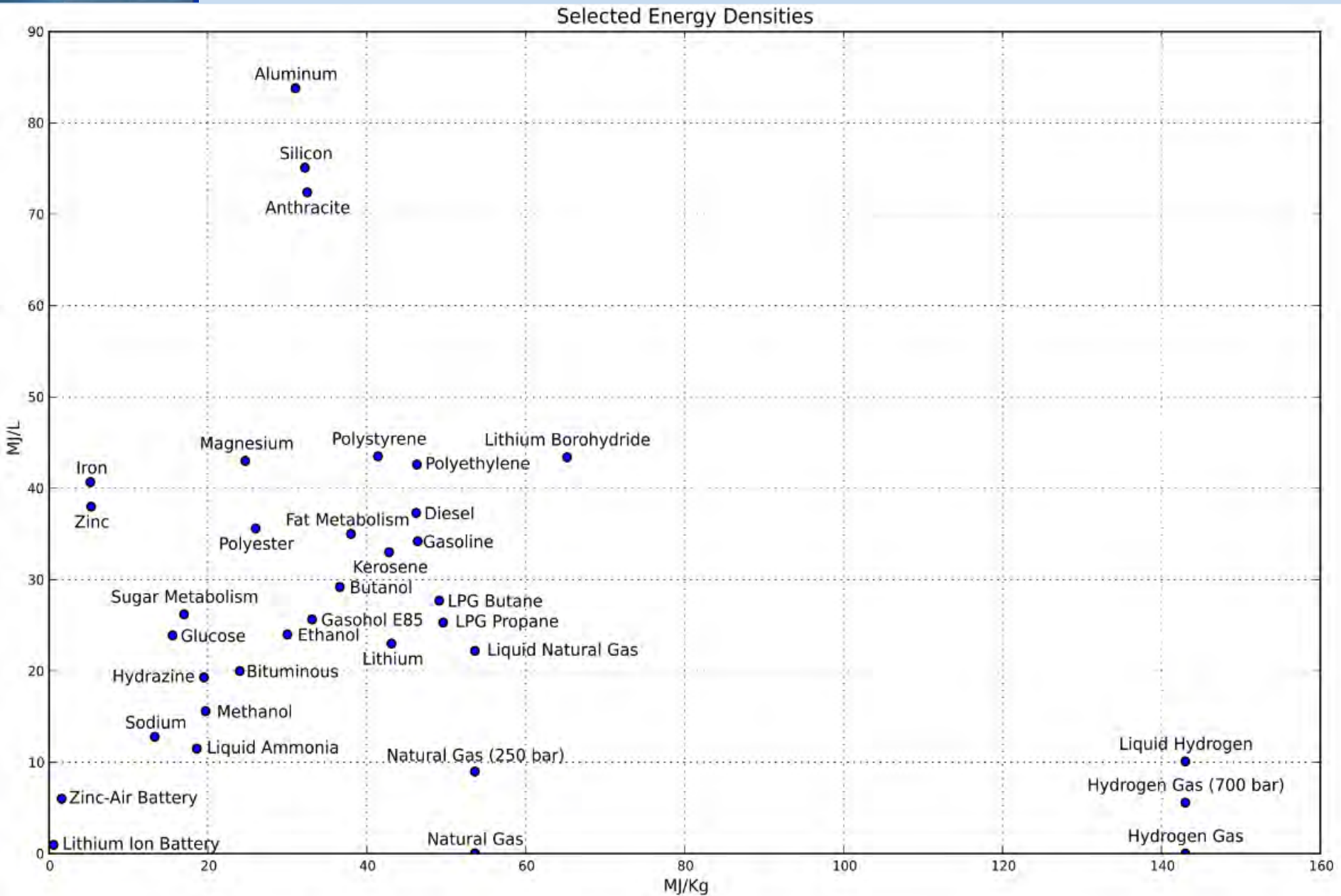
- i. Bez možnosti uskladnění
- ii. Uskladnitelná staticky
- iii. Uskladnitelná ve vozidle

Z hlediska mobility jsou velmi důležité:

- **Stabilita / pohotovost / volatilita použité energie**
- **hustota energie (objemová [J/m³] i hmotnostní [J/kg])**



Dostupné hustoty (chemické) energie (DoE)



Cesty k čisté mobilitě



Triviální:

- 1) Vyloučit zbytečnou dopravu (telecommuting +?)
- 2) **Zvyšovat účinnost využití energie.**

Bohužel možnosti (ad.1) jsou realizovatelné spíše vzácně. Zvyšování účinnosti (ad.2) je **univerzální** přístup, mnohdy však naráží na fyzikální meze (tepelné stroje - spalovací motory) a proto je dosahovaný pokrok pomalý. **př.**

Reálné:

Vyžadují dekompozici podle typů regionu. Různé typy regionů mají totiž odlišné hodnocení „čistoty“.

Překvapivě postačí pro základní analýzu rozlišit 2 třídy regionů:

- I. Města, průmyslové aglomerace (a chráněné krajinné oblasti)
- II. Ostatní regiony → rozsáhlá území → Země

Nutnost postupné, ale zásadní změny směrem k čisté mobilitě vyplývá z řady faktorů, jejichž váha se v průběhu času mění



Východiska (2009)

V [1] se charakterizují tyto motivy ke změně:

1. Ochrana klimatu, hlavně redukce emisí CO₂.
2. Nižší závislost na ropě
3. Šance pro domácí průmysl
4. Ochrana prostředí ve městech
5. Integrace vozidel do energetické struktury (smart grids)
6. Cesta k integrované multimodální dopravě (včetně faktoru bezpečnosti)



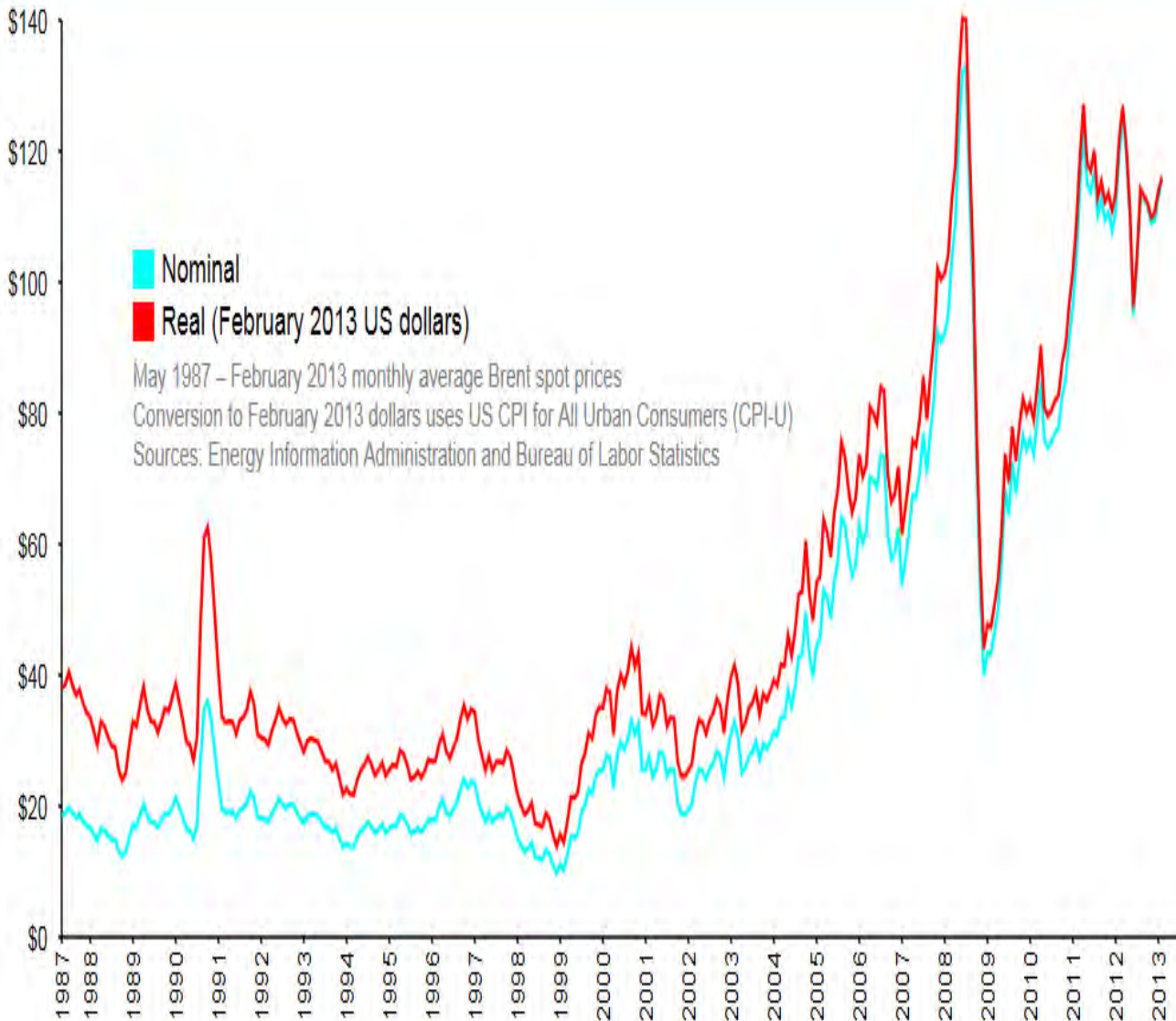
Die
Bundesregierung



**German Federal Government's
National Electromobility Development Plan
August 2009**



Ad 2. Závislost na ropě - ceny BRENT

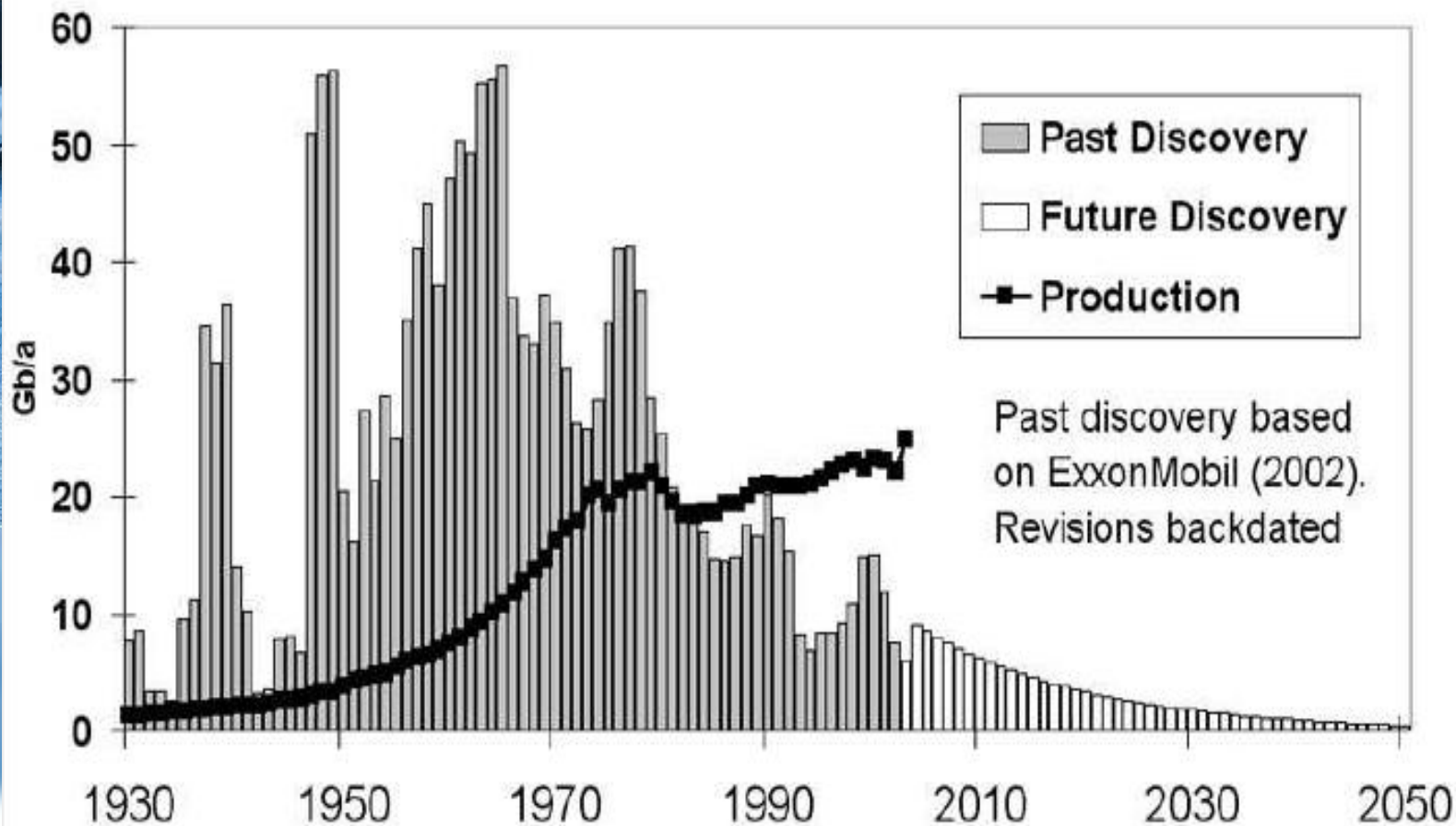


Z uvedených faktorů je nejzřetelnější ad. 2. - nutnost snížení závislosti na ropě. Nahlédneme to z těchto grafů.



Ad 2. Závislost na ropě – prospekce !

THE GROWING GAP



Ad 2_a: Plyn jako substituent

- Zemní plyn (dominantně CH_4) se stává substitucí ropy.
- Lze očekávat podobný průběh, jako u ropy s posunem cca 30 let.
- Spalovací motory na stlačený zemní plyn CNG zatěžují prostředí podobně jako diesel [8-10]. Motory na CNG mají oproti dieselům nižší účinnost. (Motory na LNG jsou na tom teoreticky lépe).
- Těžba (břidlicového) zemního plynu přináší značnou environmentální zátěž (únik metanu, znečištění vody).
- **Bioplyn může mít jen doplňkový vliv**
- Stacionární spalovací motory na plyn jsou účinnější a mají nižší dopady na prostředí \Rightarrow elektrárny, kogenerační jednotky
- Zemní plyn i bioplyn se relativně dobře skladují v stacionárních podzemních skladech
- Jak zemní plyn, bioplyn, tak i vodík (v roli přenašeče energie) mohou být relativně čistě využity v palivových článcích.



I. Města, průmyslové aglomerace (a chráněné krajinné oblasti)

Požadavky na minimální lokální impakty do prostředí jsou zde kritické. Naopak spojité (globální) dopady jsou méně významné. diskuse
Důkladná zdravotní, environmentální i sociální šetření ukazují, že **situace ve městech a průmyslových aglomeracích je horší, než se předpokládalo [9 -10].**

Faktory :

- prach (PM včetně nanočástic),
- aerosoly,
- NO_x,
- přízemní O₃,
- uhlovodíky,
- hluk,
- dopravní zácpy ...

devastují lidské zdraví fyzické i psychické a narušují ekonomiku i sociální vztahy. ⇒ Čistota i na úkor ceny.

V ChKO je tlak na (lokální) čistotu dán jejich společenskou rolí.

Elektromobilita a posílení veřejné dopravy zde nemají srovnatelnou alternativu.

PROČ?



1) Zásobníky energie (akumulátory, superkapacitory)

- nízká objemová i hmotnostní hustota energie i výkonu
- cena
- spolehlivost / životnost / bezpečnost / vliv teploty
- čas dobíjení

2) Integrace do sítě (smart – grids)

3) Rámec: vzdělání a výcvik / recyklace / normy / legislativa

4) Trh: obchodní modely / diversifikace aplikací / řízení vstupu na trh

5) Mezinárodní pozice: v EU / rozvinuté země / nové ekonomiky / rozvojové země

6) Frustrace z nerealistických očekávání



Ad 1. stav EM (2013)

1. **cena uložení energie - problém zůstává**; pokles ceny sleduje předpoklady s výhradou
 2. **nízká objemová i hmotnostní hustota energie i výkonu problém zůstává**; současné hodnoty cca $350 \text{ Wh/kg} = 1,25 \text{ MJ/kg} \approx 1/15$ hustoty energie v nádrži s ropnými palivy; zlepšování (2000–2010) $\approx 5\%$ ročně (t.j. dvojnásobek za 15 let) Náprava: intenzivní výzkum ! (Li – vzduch; Al – vzduch; superkapacitory - grafen...) disk.
- 1.i 2. nezpůsobují již v současnosti zásadní aplikační obtíže ve městech / aglomeracích**
3. spolehlivost / životnost / bezpečnost / vliv teploty - - **zlepšení** –vyšší stupeň osvojení technologií **diskuse**
 4. čas dobíjení a způsoby dobíjení - **podstatné zlepšení**



II. Ostatní regiony → rozsáhlá území → Země

Počáteční problém zde působí nízký stupeň poznání impaktů mobility na globální systém i prostředí. V současnosti nedokážeme provádět spolehlivé predikce ani retrodikce v tak komplexním systému. **To samozřejmě vyvolává naléhavou potřebu výzkumu.** V současnosti je proto racionální volit spíše univerzální nebo konzervativní přístupy.

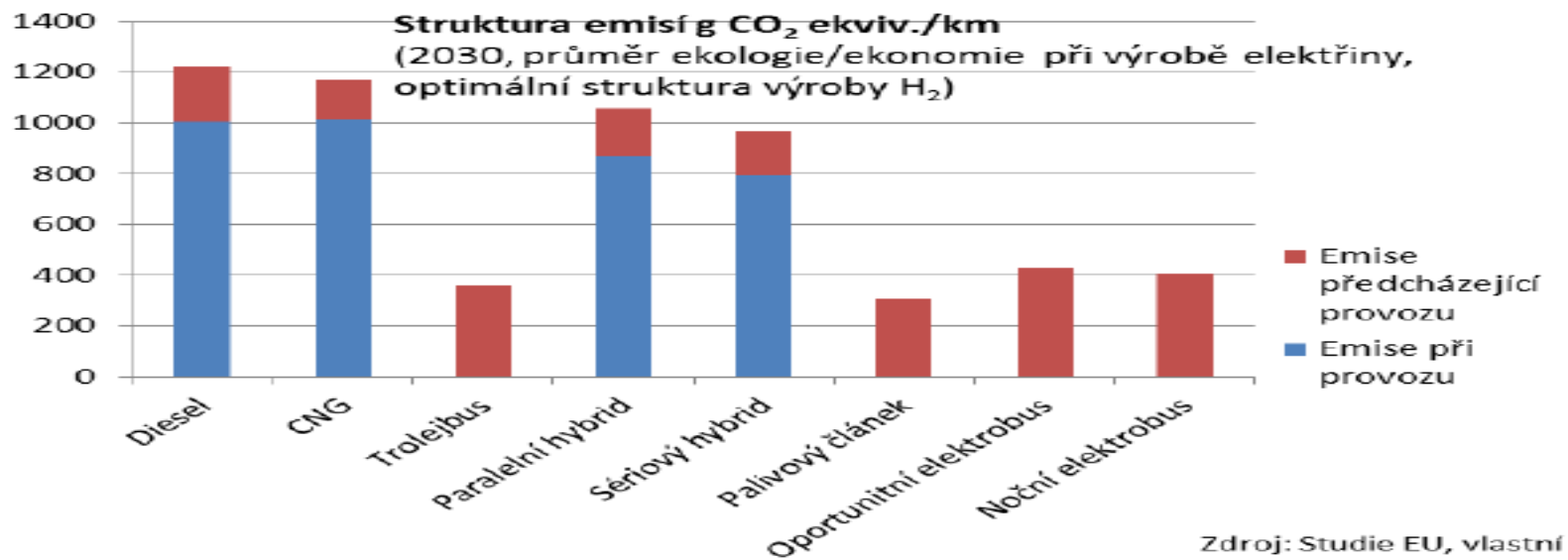
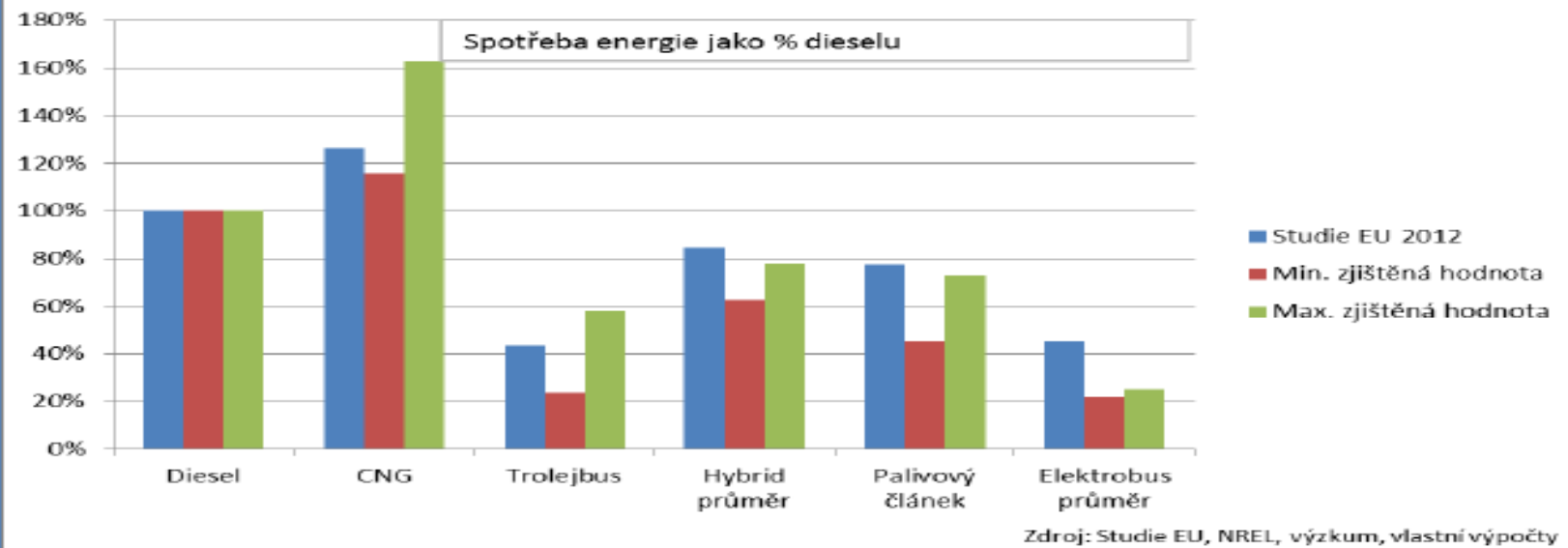
A. Úspory energie

B. Zvyšování (energetické) účinnosti:

1. Produkce energie
2. Pohonů vozidel (**hybridy**: diesel / elektro; plyn / elektro; palivové články / elektro); **zvyšování podílu elektrické trakce**) [6 -7]
3. Inteligentním řízením dopravy, automatizací, optimalizací [2,3]
4. Technologií výroby, údržby i recyklace vozidel a infrastruktury
5. Vyšší spolehlivostí a bezpečností, včetně omezení lidského faktoru ⇒ menší vynaložená energie na likvidaci škod, léčbu... [2]
6. Volbou vhodných dopravních módů (intermodalita, multimodalita) [6].



Příklad: Spotřeba energie u autobusů a emise CO₂ [7] s laskavým svolením autora



II. Ostatní regiony → rozsáhlá území → Země

C. Vyšší využití udržitelných a obnovitelných zdrojů

Tyto zdroje jsou mnohdy volatilní. To tedy dále předpokládá:

1. Zvyšování inteligence a restrukturalizaci energetických (nejen elektrických) sítí.
2. Výstavbu energetických zásobníků (cena!)
3. Přijetí vhodných obchodních modelů.

E. Preferenci hromadné dopravy

F. Racionální výstavbu infrastruktury (ta je energeticky náročná!)

G. Volbu optimálních dopravních módů.



Ad B, F, G: \Rightarrow Cesta k integrované multimodální dopravě (včetně faktoru bezpečnosti)



- Základní změna pojetí dopravy, vycházející z (účelně podpořené !?) nabídky a bezztrátové návaznosti dopravy silniční, železniční, vodní a letecké [3,6]
- Závěry z kalkulací ztrát v důsledku nehod v silniční dopravě – EU: 40 000 mrtvých ročně / 200 (resp. 500) miliard Euro; Svět 1,5 mil. mrtvých ročně ! Hlavní příčinou jsou lidská selhání [2] - diskuse
- Asistenční systémy a robotické automobily (s výhodou se realizují na platformě EV)
– diskuse
- Chytrá města (Smart Cities) / regiony





Čistá mobilita je nutností.

Cesty k čisté mobilitě vyžadují:

- Prohloubení znalostí zejména o systémových relacích a zdrojích
- Detailní analytický přístup
- Diferencovaný přístup pro města / aglomerace a „spojitá“ území až po globální měřítko.
- Schopnost strategických predikcí

Vzhledem k stavu znalostí o komplexních systémech obecně a územních / sociálních systémech zvláště je důležité jednotlivé alternativy studovat na pilotních projektech.



Reference

- 
- [1]...German Federal Government's National Electromobility Development Plan, Aug. 2009
- [2]...Novák M. Problémy vlivu řidičů na nehody na silnicích; Výzkumná zpráva LSS 419/12; ČVUT, FD
- [3] ...Votruba Z. :Procesní a zdrojová analýza silniční elektrické dopravy
Konference „Elektromobilita v silniční dopravě a 21. století“, Fakulta dopravní ČVUT, 7 dubna 2010.
- [4] ... Jørgensen ,J. M., et al: EcoGrid EU - A prototype for European Smart Grids Detroit 2011
- [5] ... Abbott, D.: Keeping the Energy Debate Clean: How Do We Supply the World's Energy Needs? Proceedings of the IEEE | Vol. 98, No. 1, January 2010
- [6] ...Duchoň, B.,et al : Studie budoucího rozvoje dopravy v české republice ... ČVUT, Fakulta dopravní.
- [7] ...Slavík,J.: E-mobilita v MHD, studie srpen 2013; www.proelektrotechniky.cz
- [8]...Lowel, D.M., et al: Comparison of Clean Diesel Buses to CNG Buses, NYCT Study
- [9]...Gamble, J.F. et al: Lung Cancer and Diesel exhaust: an updated critical review...J.Crit. Rev. Toxicol. 2012 549-98
- [10]...Oberdorster, G., Significance of Particle Parameters... J. Inhal. Toxicology 1996; 8,Suppl: 73 - 89

