

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

**Studie perspektiv využití elektrických pohonů u silničních
dopravních prostředků**

Jiří Pytelka

Bakalářská práce

2010

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Jiří PYTELKA
Osobní číslo: D08396
Studijní program: B3709 Dopravní technologie a spoje
Studijní obor: Dopravní infrastruktura-Elektrotechnická zařízení v dopravě
Název tématu: Studie perspektiv využití elektrických pohonů u silničních dopravních prostředků
Zadávající katedra: Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

- a) Sestavte přehled možných koncepcí elektrických pohonů silničních vozidel
- b) Proveďte porovnání jednotlivých koncepcí pohonů silničních vozidel z hlediska energetické náročnosti, infrastruktury, ekonomických ukazatelů a vlivů na životní prostředí
- c) Rozpracujte Vámi preferovanou variantu z hlediska technické koncepce vozidla a infrastruktury

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

[1] Kameš J.: Alternativní pohony automobilů. Praha: BEN - technická literatura, 2004. 231 s. ISBN 80-7300-127-6. [2] Cílek V., Kašík M.: Nejistý plamen: průvodce ropným světem. Praha: Dokořán, 2008. 239 s. ISBN 978-80-7363-218-2.

[3] Vlk F.: Koncepce motorových vozidel. Brno: Vlk, 2000. 367 s. ISBN 80-238-5276-0.

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Jaroslav Novák, CSc.

Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě

Datum zadání bakalářské práce: **7. ledna 2010**

Termín odevzdání bakalářské práce: **31. května 2010**



prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.

děkan

L.S.



prof. Ing. Vladimír Schejbal, CSc.

vedoucí katedry

V Pardubicích dne 8. března 2010

Prohlášení autora

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 20. 5. 2010

Jiří Pytelka

Motto

Na začátku této práce bych rád uvedl motto Centra pro dopravní výzkum v Olomouci, které podle mého názoru velmi stručně a výstižně charakterizuje v kontextu dnešní doby problematiku (nejen) dopravy.

"Není potřebnějšího a obtížnějšího úkolu výzkumu v dopravě, nežli hledat styčné body mezi ochranou životního prostředí a neustálým spěchem společnosti za vidinou spotřeby, vyšší výroby, vyšších přepravních výkonů. Není obtížnějšího úkolu výzkumu, nežli ochránit člověka před sebou samým. Není důležitějšího poslání, nežli nést vědomou spoluzodpovědnost za vytváření přijatelných podmínek pro budoucí generaci."

ANOTACE

Tato práce je věnována porovnání koncepcí osobních vozidel s benzínovými a elektrickými motory zejména z hlediska energetické náročnosti, vlivů na životní prostředí a ekonomických ukazatelů v současné době a v horizontu zhruba deseti až patnácti let v podmínkách České republiky.

Z analýzy dosažených výsledků pak vyplývá naznačení možností uplatnění bateriových elektromobilů v oblasti individuální automobilové dopravy.

KLÍČOVÁ SLOVA

alternativní pohon; automobil; benzínový motor; elektromobil; energie; životní prostředí

TITLE

Study of ground lines of utilization of electric drives at road vehicles

ABSTRACT

This work is devoted to confrontation of passenger vehicles with petrol and electric motors especially in light of energy intensive, environmental impacts and economic indicators at present and near future in conditions of Czech Republic.

There is resulting usage of battery-operated electric cars in the area of individual automobile transport from records of this analysis.

KEYWORDS

alternative drive; motor vehicle; petrol engine; electromobile; energy; environment

Obsah

Úvod	8
1. Doprava	9
1.1. Účel dopravy.....	9
1.2. Vlivy dopravy na okolní svět.....	9
1.2.1 Emise výfukových plynů a jejich škodlivé účinky.....	10
1.2.2 Spotřebování neobnovitelných zdrojů	12
1.2.3 Hluk	13
1.3. Udržitelnost silniční motorové dopravy v současné podobě	14
2. Rozbor současných koncepcí pohonů osobních vozidel a zdrojů energie pro jejich pohon .	16
2.1. Možnosti napájení elektromobilů.....	16
2.2. Energetická náročnost	17
2.2.1 Energetická náročnost vozidel	17
2.2.2 Energetická náročnost získávání paliv a elektrické energie	20
2.2.3 Porovnání energetických bilancí vozidel se spalovacím a elektrickým motorem	23
2.3. Vlivy na životní prostředí	25
2.3.1 Porovnání emisí škodlivých látek.....	26
2.3.2 Porovnání ostatních vlivů.....	31
2.4. Výhled do budoucnosti z hlediska energetické náročnosti a produkce znečišťujících látek	32
2.4.1 Energetická náročnost	33
2.4.2 Životní prostředí.....	34
2.5. Porovnání ekonomických ukazatelů.....	36
2.5.1 Benzín	36
2.5.2 Elektřina	36
2.5.3 Porovnání ekonomické situace z pohledu státních daňových příjmů.....	37
2.5.4 Porovnání ekonomické situace z pohledu koncového zákazníka.....	37
2.6. Infrastruktura potřebná pro provoz vozidel	38
2.6.1 Vozidla se spalovacím motorem	38
2.6.2 Elektromobily	39
3. Závěr	41
Použité informační zdroje	44
Seznam tabulek	46
Seznam grafů	47

Úvod

Téma pro tuto práci jsem zvolil ze dvou hlavních důvodů. Jednak to bylo zamyšlení se nad efektivností a účelností dopravy v dnešním světě při každodenním pozorování pomalu se pohybujících dlouhých kolon nevytížených osobních automobilů v dopravních špičkách, a v neposlední řadě také dnes často ohlašovaný nástup elektromobilů jako budoucí náhrady za vozidla se spalovacím motorem.

V teoretické části této práce se proto nejprve zabývám účelem dopravy, jejími vlivy na okolní svět a udržitelností individuální automobilové dopravy v současné podobě, zejména s přihlédnutím na výše uvedené problémy a na ubývání světových zásob dnešních energetických zdrojů.

Vzhledem k tomu, že většina vozidel osobní automobilové dopravy je poháněna benzínovými motory, zabývám se v analytické části porovnáním vozidel s tímto pohonem s elektromobily napájenými pomocí akumulátorových baterií, a to zejména z hledisek, které považuji za rozhodující k vyvození potřebných závěrů, tj. z hlediska energetické náročnosti, ekonomických ukazatelů, vlivů na životní prostředí a infrastruktury. Porovnání je provedeno v rámci České republiky, a to jak s ohledem na stávající podmínky ve skladbě zdrojů pro výrobu elektrické energie, tak i s ohledem na budoucí plánovaný vývoj v této oblasti v horizontu zhruba 10 až 15 let.

Vyhodnocení výsledků těchto analýz by mělo dát odpověď na otázku, zda je reálné, aby se elektromobily napájené z akumulátorových baterií staly v současnosti či nepříliš vzdálené budoucnosti v podmínkách České republiky alternativou či přímo náhradou vozidel s benzínovými spalovacími motory.

1. Doprava

1.1. Účel dopravy

Doprava je v současnosti jedním z nejrychleji se rozvíjejících oborů lidské činnosti, jejím uživatelem je v různé míře každý člověk. Má strategický význam v oblasti bezpečnosti a obrany, dále v oblastech hospodářské, politické a kulturní.

Doprava je charakterizována jako činnost spojená s cílevědomým přemísťováním osob a hmotných předmětů v nejrůznějších objemových, časových a prostorových souvislostech za použití různých dopravních prostředků a technologií.

1.2. Vlivy dopravy na okolní svět

Doprava významně ovlivňuje život lidí, a to jak v pozitivním, tak i v negativním směru. Pozitivní vlivy jsou zřejmé – doprava uspokojuje rozsáhlé nároky na přemísťování, jejím prostřednictvím se uskutečňují toky lidské i materiálové, bez nichž si lze těžko představit fungování a rozvoj dnešního světa. Lze říci, že vyšší úroveň dopravy by měla napomáhat k všestranně bohatšímu životu lidí.

Na druhou stranu přináší rozvoj dopravy v současné podobě i mnohé vlivy negativní, jako jsou znečišťování životního prostředí, spotřebovávání neobnovitelných zdrojů, přetížení dopravních cest, omezování přístupnosti některých území, hluk a mnohé další.

Tato negativa se projevují na celém světě, ve větší míře se začala projevovat ve Spojených státech amerických již několik let po 2. světové válce, v Evropě pak zhruba od 60. let minulého století, kdy začal převládat názor, že požadavky na přemísťování obyvatelstva budou nejlépe zabezpečeny upřednostňováním individuální automobilové dopravy (IAD) na úkor dopravy veřejné. Důvodem pro to byla dostupnost levného zdroje s vysokým obsahem využitelné energie, kterým byla ropa. Díky hospodářskému vzestupu tak prudce narůstalo využívání osobních automobilů a tím i nároky na dopravní infrastrukturu. Současně s nárůstem automobilismu (viz. *Tabulka 1* a *Tabulka 2*) začaly do popředí vystupovat výše uvedené problémy, přičemž současné snahy o potlačení těchto trendů často jen zpomalují tempo jejich nárůstu.

Tabulka 1 Počet osobních automobilů na 1000 obyvatel v ČR [8]

Rok	1961	1971	1981	1990	2000	2006	2009
Počet vozidel na 1000 obyvatel	21	72	182	233	362	398	422

Tabulka 2 Počet osobních automobilů na 1000 obyvatel ve státech Evropské unie [13]

Rok	1996	1998	2000	2002	2004	2006
Počet vozidel na 1000 obyvatel v EU ²⁷	383	400	422	438	446	466

EU²⁷ zahrnuje tyto státy: Belgie, Bulharsko, Českou republiku, Dánsko, Německo (včetně NDR z r. 1991), Estonsko, Irsko, Řecko, Španělsko, Francii, Itálii, Kypr, Lotyšsko, Litvu, Lucembursko, Maďarsko, Maltu, Nizozemsko, Rakousko, Polsko, Portugalsko, Rumunsko, Slovinsko, Slovensko, Finsko, Švédsko a Velkou Británii

1.2.1 Emise výfukových plynů a jejich škodlivé účinky

Doprava se podílí nemalou měrou na celkovém znečišťování ovzduší. Z kontinentálního hlediska má na produkci emisí podstatný vliv přetížení evropské silniční sítě, přičemž „úzké hrdlo“ je tvořeno především městskými aglomeracemi. Jelikož lze předpokládat další nárůst silniční dopravy, situace se bude i přes předpokládané zvýšené investice do přestavby silniční sítě dále zhoršovat [11].

Nejvýznamnější škodlivé látky produkované dopravou jsou (dle [7], [20], [22]):

- **oxid uhelnatý CO**

Zdrojem znečištění ovzduší oxidem uhelnatým jsou procesy, při kterých dochází k nedokonalému spalování fosilních paliv. Je to především doprava, dále stacionární zdroje, zejména domácí topeniště. Oxid uhelnatý je prudce jedovatý, váže se na hemoglobin, v nižších koncentracích způsobuje bolesti hlavy, zhoršuje koordinaci a snižuje pozornost. Zvýšené koncentrace vzniklého karboxyhemoglobinu omezují kapacitu krve pro přenos kyslíku.

Podíl dopravy na celkové produkci CO je téměř 50 %, z toho podíl IAD je asi 45 %.

- **oxid uhličitý CO₂**

Oxid uhličitý je nejvýznamnějším skleníkovým plynem, ve vyspělých zemích tvoří zhruba 85 % celkového množství skleníkových plynů. Emise CO₂ vznikají zejména spalováním fosilních paliv, odsiřováním, provozem metalurgických a chemických zařízení, výrobou cementu, vápna a skla.

Podíl dopravy na celkové produkci CO₂ je asi 15 %, z toho podíl IAD je okolo 50 %. Vliv dopravy se však na úkor jiných odvětví stále zvětšuje.

- **pevné částice (suspendované částice frakce PM₁₀ a PM_{2,5})**

Z chemického hlediska jde o různorodou směs organických a anorganických látek (40 % uhlík, 25 % nespálený olej, dále např. sírany, nespálené palivo a mnoho dalších látek). Mezi hlavní zdroje lze řadit dopravu (naftové motory), uhelné elektrárny, spalovací zdroje (průmyslové i domácí), báňskou činnost a stavební práce. Částice PM₁₀ (velikost 10 μm) vykazují významné zdravotní následky, které se projevují již při velmi nízkých koncentracích.

V poslední době se ukazuje, že nejzávažnější zdravotní dopady (včetně zvýšené úmrtnosti) mají částice frakce $PM_{2,5}$, popř. PM_1 , které se při vdechnutí dostávají do spodních částí dýchací soustavy.

Podíl dopravy na celkové produkci pevných částic je asi 10 %, v městských oblastech je však doprava často jejich dominantním zdrojem. Podíl IAD z toho činí zhruba 15 %.

- **oxidy dusíku NO_x**

Při sledování a hodnocení kvality venkovního ovzduší se pod termínem oxidy dusíku NO_x rozumí směs oxidu dusnatého NO a oxidu dusičitého NO_2 . Více než 90 % z celkových oxidů dusíku je emitováno ve formě NO , zbytek vzniká přímo ve formě NO_2 . V Evropě vznikají emise NO_x převážně z antropogenních spalovacích procesů. Oxidy dusíku se spolu s oxidy síry podílejí na tvorbě kyselého deště, v Evropě způsobují $\frac{1}{3}$ okyselení dešťových srážek. Zvýšená koncentrace NO_2 ovlivňuje plicní funkce, způsobuje snížení imunity a snižování odolnosti vůči virovým onemocněním.

Podíl dopravy na celkové produkci je zhruba 40 % z toho podíl IAD je kolem 20 %.

- **oxid dusný N_2O**

Největší množství emisí oxidu dusného pochází ze zemědělských aktivit, dalším významným zdrojem je výroba kyseliny dusičné a v menší míře i doprava (automobily s katalyzátory).

Podíl dopravy na celkové produkci N_2O je asi 10 %, z toho podíl IAD je cca 75 %.

- **těkavé organické látky VOC a přízemní (troposférický) ozon O_3**

Těkavé organické látky spolu s oxidy dusíku přispívají k tvorbě přízemního ozonu, což je velmi účinný oxidant, poškozující převážně dýchací soustavu a způsobující podráždění a snižování obranyschopnosti organismu. Jeho největší koncentrace bývají zaznamenány v poledních a odpoledních hodinách ve velkých městech a v průmyslových aglomeracích, přičemž růst jeho množství v přízemní vrstvě se v posledních letech stává výrazným problémem.

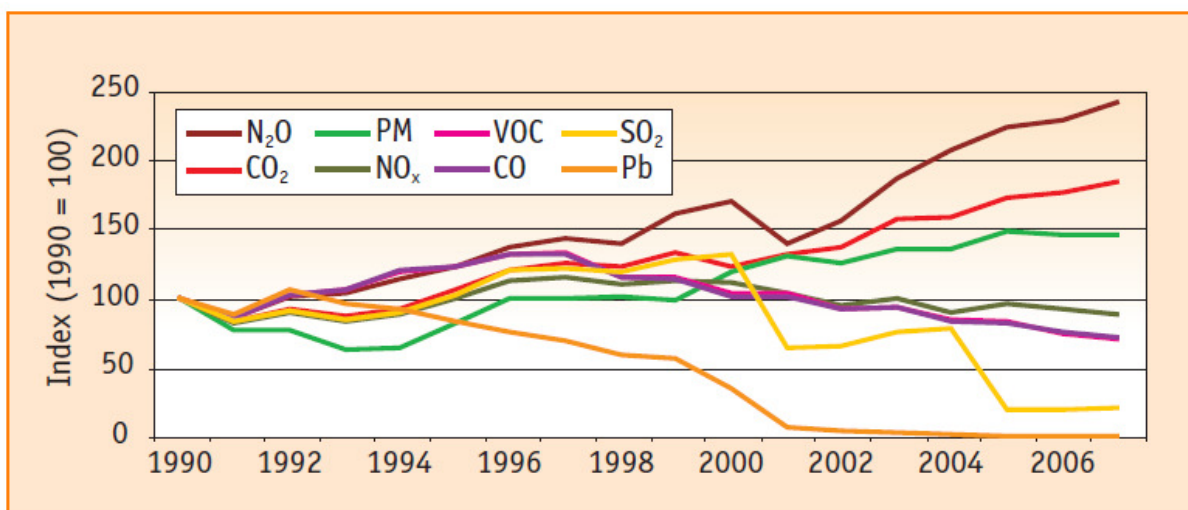
VOC se dostávají do ovzduší zejména používáním barev a rozpouštědel, výrobou a zpracováním chemických produktů a spalováním pohonných hmot.

Podíl dopravy na celkové produkci VOC je asi 30 %, z toho připadá 30 % na IAD.

- **benzen a ostatní uhlovodíkové sloučeniny C_xH_x**

Množství benzenu obsaženého ve výfukových plynech je dáno především množstvím nespáleného benzenu z paliva, v menší míře pak benzenem vzniklým z nebenzenových aromatických uhlovodíků, popřípadě z nearomatických uhlovodíků obsažených v palivu. Mezi nejškodlivější efekty benzenu patří poškození krevetvorby a karcinogenní účinky.

Podíl dopravy na celkové produkci benzenu je zhruba 85 %.



Pozn.: U tuhých látek PM jsou uvedeny pouze emise z výfukových systémů

Graf 1 Vývoj emisí hlavních znečišťujících látek z dopravy v letech 1990 – 2007 (index, rok 1990 = 100) [6]

Z Grafu 1 vyplývá, že nejvyšší růst vykazují emise skleníkových plynů CO₂ a především N₂O, kde novější vozidla dosahují vyšších naměřených hodnot než starší typy. U CO₂ je trend růstu jednoznačný vzhledem k celkové spotřebě pohonných hmot, která rok od roku roste i přesto, že jsou na trh dodávána nová vozidla s nižší spotřebou paliv. Na druhou stranu se daří stabilizovat a snižovat emise ne-metanových uhlovodíků (NM VOC) a oxidu uhelnatého (CO), neboť nová vozidla musí splňovat stále přísnější limity EURO.

Emise závislé na kvalitě pohonných hmot (oxid siřičitý SO₂, olovo Pb) produkované dopravou jsou již prakticky zanedbatelné, což je výsledkem dodávání kvalitních nízkosírných a bezolovnatých paliv na trh.

Co se týká emisí produkovaných oběma typy spalovacích motorů, vznětové (naftové) vytvářejí méně emisí CO a NO_x než zážehové (benzínové), ovšem na druhou stranu produkují více těkavých organických látek (VOC) a karcinogenních pevných částic (PM).

Z pohledu na celkovou situaci vyplývá, že zatímco měrné emise se u nových vozidel snižují (důsledkem lepších technologií spalování, čištěním výfukových plynů a vyššími nároky na kvalitu paliv), objem dopravy se zvyšuje. Snižování zátěže životního prostředí klesajícími emisemi na jedné straně, je tak na druhé straně zpomalováno významným nárůstem objemu dopravy.

1.2.2 Spotřebování neobnovitelných zdrojů

Výrazně největší podíl z paliv pro motory silničních vozidel využívaných v současnosti pokrývají uhlovodíková paliva. Zdrojem pro jejich výrobu je především ropa, což je hořlavá kapalná směs

složená převážně z kapalných uhlovodíků, v nichž jsou rozpuštěny menší podíly plynných a tuhých uhlovodíků a dalších příměsí.

Tabulka 3 Složení ropy (v %) [7]

Prvek	uhlík	vodík	síra	dusík	kyslík	fosfor	kovy
%	80 – 88	11 – 14,5	0,6 – 4,5	0,1 – 1,0	< 1	< 0.3	0.002 – 0.04

Z vytěženého množství ropy se asi 80 % zužitkuje na kapalná paliva (benzin, petrolej, motorová nafta a topné oleje), 2 % na maziva, 4 % na asfalt, 1 % na parafín, 1 % na ropný (petrolejový) koks a zbývající množství zhruba 12 % je surovinou pro výrobu základních produktů organické chemie [12].

Pokud se podíváme na celkovou spotřebu ropy v dnešním světě, dojdeme v posledních letech k údajům 80 – 85 milionů barelů denně, což je zhruba 30 miliard barelů ročně [2]. Současné známé světové zásoby ropy nelze přesně vyčíslit, protože země těžící ropu používají pro udávání svých zásob odlišná kritéria. To se děje z různých politických a ekonomických důvodů (např. z udaných zásob se stanovují těžební kvóty u států sdružených v OPEC; oficiální údaje o výsledcích provedeného průzkumu jsou těžařskými firmami zařazeny na určité období mezi utajované skutečnosti atd.). Tak lze tyto zásoby jen zhruba odhadnout, přičemž se výsledky odhadů různých institucí celkem výrazně liší. Nejpesimističtější odhady hovoří o ověřených zásobách kolem 1 000 miliard barelů, což znamená, že by ropa došla při současném tempu těžby za 33 let. Neoptimističtější odhady hovoří o 2 600 miliardách barelů konvenčních zásob a k tomu dalších 1 000 miliardách barelů v nekonvenčních zásobách (ropné písky, tmavé břidlice), což by stačilo zhruba na 120 let.

Nejrealističtější odhady (tedy ty, ke kterým se přiklání asi nejvíce naftových geologů a jsou uváděny mnoha společnostmi zabývajícími se petrokonzultacemi a bankovníctvím) hovoří o množství 2 000 – 2 200 miliard barelů ropy. Toto množství by při současné spotřebě stačilo přibližně na 70 let. Ve skutečnosti však spotřeba ropy neustále roste a přihlédneme-li k budoucímu nárůstu spotřeby v nejlidnatějších asijských zemích jako jsou Čína a Indie, stačily by zásoby zhruba na 40 let.

1.2.3 Hluk

S nárůstem dopravy se úměrně zvyšuje hlukové zatížení obyvatelstva v blízkosti dopravních cest. To se negativně projevuje na lidském zdraví, mezi zdravotním stavem člověka a úrovní hluku existuje přímý vztah. Hluk nejen že zhoršuje sluch, ale také zvyšuje nebezpečí kardiovaskulárních chorob (infarktů). Způsobuje podrážděnost, změny chování, stres, nespavost, sníženou koncentraci, sníženou pracovní a studijní schopnost.

V Evropě je dlouhodobý vliv dopravního hluku příčinou 3 % všech úmrtí na srdeční selhání. Má tedy na svědomí zhruba 200 tisíc zemřelých z celkových sedmi milionů lidí, kteří podleli onemocněním srdce [9].

Více než 90 % podíl na nadměrném hluku z dopravy má doprava automobilová.

1.3. Udržitelnost silniční motorové dopravy v současné podobě

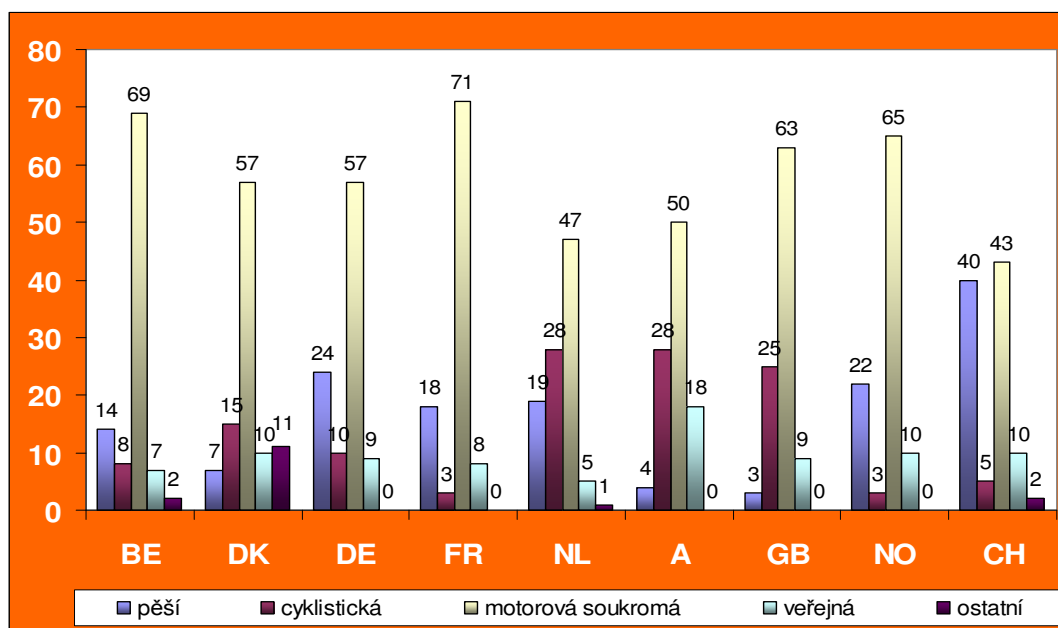
Z předchozích odstavců vyplývá, že řešením výše zmíněných problémů se bude muset lidstvo zabývat již v nepříliš vzdálené době. Ačkoliv se toto hledání v současnosti omezuje zejména z politických a ekonomických důvodů jen na některé oblasti (např. snižování emisí škodlivých látek, snižování spotřeby paliva apod.), nebo je vůbec odkládáno (řešení efektivnosti individuální dopravy), je podle mého názoru zřejmé, že bez citelných omezení dnešních návyků v oblasti dopravy (viz. *Graf 2*) se v budoucnosti neobejdeme. K těmto úvahám mě vedou výše uvedené skutečnosti, z nichž asi nejpodstatnější je ta, že zatím neexistuje náhrada za tak energeticky výnosný a levný zdroj, jakým je ropa.

Další významnou skutečností je i to, že zatímco negativní vlivy na životní prostředí u většiny jiných odvětví v České republice klesají, u dopravy, zejména pak silniční, často rostou. I přes podporu ekologicky šetrné dopravy, která je deklarována v mnoha dokumentech týkajících se dopravní problematiky a životního prostředí (Dopravní politika ČR, Státní politika životního prostředí ČR 2004 – 2010, Strategie udržitelného rozvoje České republiky aj.) se nepříznivě, tzn. ve prospěch nejméně šetrných druhů dopravy, vyvíjí i srovnání přepravních výkonů (viz. *Tabulka 4*).

Tabulka 4 Srovnání přepravních výkonů v osobní dopravě [10]

Rok	2000	2004	2006	2008
Přeprava cestujících celkem (mil.)	4 897,6	5 016,1	4 976,6	5 161,0
z toho veřejná doprava celkem	2 917,6	2 916,1	2 816,6	2 911,0
individuální automobilová přeprava osob*	1 980,0	2 100,0	2 160,0	2 250,0
Přepravní výkony celkem (mil. oskm)	101 351,9	106 939,9	110 616,8	115 180,5
z toho veřejná doprava celkem	37 411,9	39 369,9	40 986,8	42 800,5
individuální automobilová přeprava osob*	63 940,0	67 570,0	69 630,0	72 380,0
Průměrná přepravní vzdálenost (km)	20,7	21,3	22,2	22,3
veřejná doprava celkem	12,8	13,5	14,6	14,7
individuální automobilová přeprava osob*	32,2	32,2	32,2	32,2

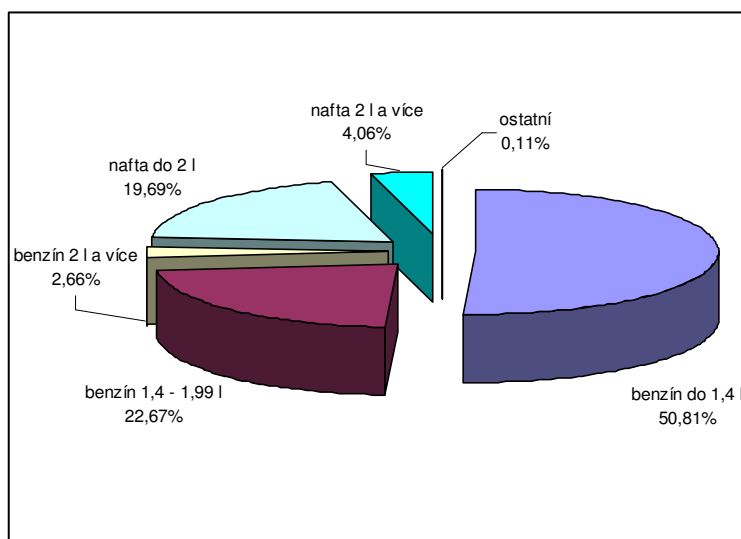
* jedná se o odborný odhad



Graf 2 Rozdělení uskutečněných cest v některých evropských zemích podle hlavního druhu dopravy (v %) [11]

2. Rozbor současných koncepcí pohonů osobních vozidel a zdrojů energie pro jejich pohon

Naprostá většina osobních vozidel je v současné době poháněna spalovacím motorem, jehož palivem jsou ropné produkty benzín nebo nafta, v menší míře pak i jiná alternativní paliva. Pouze nepatrné procento vozidel je zatím koncipováno s jiným pohonem (viz. Graf 3), v úvahu přichází především hybridní pohon (spalovací motor + elektromotor) nebo pohon čistě elektrický.



Graf 3 Struktura vlastnictví osobních vozidel v ČR v roce 2009 podle typu paliva a objemu motoru [22]

V této části bych rád porovnal vozidla s benzínovým a elektrickým motorem z různých hledisek, zejména z hlediska energetické náročnosti, dostupnosti paliv, ekonomických ukazatelů, vlivů na životní prostředí a infrastruktury, to vše v současných podmínkách České republiky. Tyto dvě koncepce pohonů jsem vybral proto, že benzínový motor je nejzastoupenějším pohonem osobních vozidel, o elektrickém motoru se pak v současné době hovoří jako o jeho možném nástupci.

Cílem je posoudit, zda je vůbec na místě uvažovat o změně v koncepci pohonů osobních vozidel, či je vhodné zabývat se dále pouze rozvojem stávajících pohonů se spalovacími motory. Není-li uvedeno jinak, údaje se týkají České republiky a vozidel s benzínovými motory.

2.1. Možnosti napájení elektromobilů

Budeme-li se zabývat elektromobily, je třeba nejprve vyjasnit situaci s jejich napájením, respektive s napájecími zdroji uvnitř vozidel. V podstatě zatím přicházejí v úvahu pouze dva způsoby, a to napájení akumulátorovou baterií nebo napájení pomocí palivových článků. Oba

dva způsoby se určitým způsobem vyvíjely, o palivových článcích se z hlediska osobních automobilů hodně hovořilo zhruba před deseti lety (viz. např. [4]), kdy byla ukončena jakási sériovější výroba akumulátorových elektromobilů, zejména firem Volkswagen, General Motors a koncernu PSA, probíhající ve 2. polovině 90. let minulého století. V poslední době, zásluhou jednak intenzivního vývoje akumulátorů pro přenosná elektronická zařízení jako jsou mobilní telefony a přenosné počítače, jehož výsledkem bylo rozšíření akumulátorů na bázi lithia (Li-Ion, Li-Pol, LiFePo, LiFeYPo...), a jednak zřejmě také díky vývoji hybridních pohonů vozidel, jsou naopak preferovány akumulátorové baterie (viz. autosalony proběhlé v roce 2009, 1. veletrh elektromobilů v Mnichově apod.).

Pozn: Na 1. veletrhu elektromobilů v Mnichově na podzim 2009 nebylo v podstatě předvedeno žádné reálné vozidlo poháněné pomocí palivového článku. Prakticky všechna představená vozidla, u kterých by přicházela v úvahu sériová výroba, byla bateriová.

Jako perspektivní se jeví i další varianta, kterou je napájení pomocí velkokapacitních kondenzátorů. Ty se však zatím vzhledem k ceně a vlastnostem využívají v hybridních vozidlech a v elektromobilech především jako pomocné zdroje pro zachycování a uvolňování elektrické energie při rekuperačním brzdění nebo akceleraci vozidla, kdy vznikají požadavky na uložení či dodávku velkého výkonu v krátkém čase, což by dnešní akumulátory nebyly schopny zajistit.

Z uvedených důvodů se v dalším budu zabývat pouze elektromobily napájenými akumulátorovými bateriemi.

2.2. Energetická náročnost

Aby bylo vůbec reálné uvažovat o elektromobilech jako náhradě vozidel se spalovacími motory, je nutno nejprve zjistit, zda vůbec existuje potřebný dostatek primárních zdrojů elektrické energie pro zajištění jejich pohonu. V podstatě jde o to zjistit, jaké množství elektrické energie by se muselo v elektrárnách vyrobit pro nabíjení baterií elektromobilů.

Proto je třeba zjistit energetickou náročnost vozidel.

2.2.1 Energetická náročnost vozidel

Pro stanovení energetické náročnosti jsem postupoval tímto způsobem:

- Zjistil jsem počet registrovaných osobních vozidel a motocyklů a jejich rozložení podle objemu motoru a paliva.
- Na základě vlastních zkušeností a informací výrobců vozidel jsem určil průměrnou spotřebu vozidel (v l/100 km a kWh/100 km, viz. *Tabulka 7*).
- Zjistil jsem odborný odhad (viz. *Tabulka 4*) průměrné denní ujeté vzdálenosti osobního vozidla, což je 32,2 km, tzn. ročně necelých 12 000 km. Jelikož předpokládám, že benzínová

vozidla najedou ročně menší vzdálenost než naftová, zvolím vzdálenost 30 km denně, což je zhruba 11 000 km ročně.

Tabulka 5 Parametry paliv [21]

	Hustota (kg/l)	Výhřevnost (MJ/kg)	Výhřevnost (MJ/l)	Výhřevnost (kWh/l)	Průměrná cena r. 2009 (Kč/l)
Benzín	0,73	43,6	31,68	8,80	26,80
Nafta	0,83	42,6	35,52	9,87	28,50

- Dále jsem zjistil údaj o účinnostech vozidel se spalovacím a elektrickým motorem (viz. *Tabulka 6*).

Tabulka 6 Celková účinnosti vozidel (v %) [4]

	Maximální	Průměrná
S benzínovým motorem	35	17
S elektromotorem		70

- Z těchto údajů jsem vypočetl celkovou roční spotřebu benzínu v ČR (výsledek se shoduje s údaji ČSÚ o celkové výrobě a spotřebě benzínu v ČR) a pomocí hodnot parametrů paliv (viz. *Tabulka 5*) jsem spočítal celkovou energetickou náročnost osobních vozidel. Z energie uložené ve spotřebovaných palivech a z průměrné účinnosti vozidel se spalovacím motorem jsem spočítal celkovou využitou energii ze spotřebovaných paliv (viz. *Tabulka 7*).
- Uvažuji pro tento hrubý odhad hmotnost vozidla se spalovacím motorem (motor, převodovka, chladicí a výfuková soustava, nádrž s palivem) stejnou jako hmotnost téhož vozidla s elektromotorem (měnič, motor, baterie, topení). Ve skutečnosti by měla vozidla s elektrickým pohonem o něco větší hmotnost, tu bych pro účely tohoto výpočtu zhruba vykompenzoval možností rekuperace elektromobilů a nulové spotřeby motoru stojícího vozidla. Z toho vyplývá, že i využitá energie musí být při stejné dynamice jízdy u obou vozidel přibližně stejná, tento údaj opět viz. *Tabulka 7*.

Tabulka 7 Energetická bilance vozidel s benzínovým spalovacím motorem

Vozidlo						Celkový počet vozidel		
Průměrná spotřeba (l/100 km)	Průměrná spotřeba (kWh/100 km)	Čistá využitá energie (kWh/100 km)	Průměrně najeto ročně (km)	Spotřeba (kWh/rok)	Čistá využitá energie (kWh/rok)	Počet vozidel 2008	Spotřeba energie (GWh/rok)	Čistá využitá energie (GWh/rok)
7,2	63,66	10,82	10 950	6 970	1 185	3 410 316	23 771	4 041

- Z vypočtené využití energie a účinnosti elektromobilu (viz. *Tabulka 6*) jsem pak spočítal energii, která musí být obsažena ve zdrojích elektrické energie umístěných ve vozidle (údaj o průměrné spotřebě elektromobilů se opět celkem dobře shoduje s hodnotami spotřeby udávanými výrobcí těchto vozidel).

To by byla v podstatě celková energie, která by musela být dodána do vozidel, abychom mohli v oblasti benzínových osobních automobilů zcela nahradit stávající paliva, tj. převést veškerou osobní automobilovou dopravu poháněnou benzínovými motory na dopravu elektrickou (viz. *Tabulka 8*).

Tabulka 8 Porovnání energetická bilance vozidel se spalovacím motorem a elektromobilů

Typ motoru	Celkový počet vozidel		Vozidlo				
	Spotřeba energie (GWh/rok)	Čistá využitá energie (GWh/rok)	Průměrně najeto ročně (km)	Čistá využitá energie (kWh/100 km)	Čistá využitá energie (kWh/rok)	Průměrná spotřeba (kWh/100 km)	Spotřeba (kWh/rok)
Benzín	23 771	4 041	10 950	10,82	1 185	63,66	6 970
Elektro	5 773					15,46	1 693

Z výpočtů vychází, že k zajištění pohonu osobních vozidel na elektrický pohon je ročně potřeba uložit v bateriích energii zhruba 5 773 GWh.

Abychom mohli určit energii, kterou je třeba vyrobit, musíme připočítat ztráty v rozvodech elektrické energie od zdrojů (generátorů v elektrárnách) po nabíjecí zásuvku a vzít v úvahu účinnost nabíjení baterií.

Tabulka 9 Ztráty v distribuci elektřiny (elektrárna – zásuvka) [3]

Energetická přeměna	Dílní ztráty	Účinnost	
		Dílní	Celková
V transformátoru 10 kV/VVN	0,02	0,98	0,98
V rozvodech VVN	0,08	0,92	0,90
V transformátoru VVN/22 kV	0,03	0,97	0,87
V rozvodech VN 22 kV	0,1	0,9	0,79
V transformátoru 22/0,4 kV	0,03	0,97	0,76
V rozvodech NN 3 × 400 V	0,1	0,9	0,69
Nabíjení baterií	0,2	0,8	0,55

Z údajů v *Tabulce 9* lze vypočítat, že pro zajištění pohonu vozidel je třeba ročně odebrat ze sítě nízkého napětí energii 7 216 GWh, na což připadá roční výroba elektřiny ve výši

$$\frac{5773}{0,55} \cong 10500 \text{ GWh.}$$

Vzhledem k tomu, že výroba elektřiny v ČR v posledních letech činí přes 80 000 GWh ročně, z čehož se více než 11 000 GWh vyváží (viz. *Tabulka 10*), je zřejmé, že z hlediska množství výroby elektřiny nevzniká v zabezpečení energie pro elektromobily žádný problém.

Tabulka 10 Výroba elektrické energie a její odhad v ČR 2004 – 2010 (GWh)

	2004	2006	2008	2010*
Výroba celkem	84 333	84 361	83 518	80 100
Vývoz	15 717	12 631	11 469	13 000
Využito v zemi	68 616	71 730	72 049	67 100

*Zdroj: ČEPS, *odhad*

Ten by ovšem mohl nastat v přenosových cestách při nabíjení baterií z úrovně nízkého napětí, neboť odběr z této úrovně dnes činí necelých 40 % celkem spotřebované elektřiny, což je dle údajů z roku 2008 zhruba 23 000 GWh. Navýšení odběru o 7 216 GWh by tak znamenalo nárůst o více než 30 %. Tyto problémy by navíc vynikly v případě vyššího odběru v denních špičkách, kdy by se pravděpodobně začal projevovat momentální nedostatek výkonu v síti.

Tento problém by částečně řešilo nabíjení baterií v noční době, celkový odběr by se rozložil do širšího časového pásma a jeho zrovnoměněním by došlo také k jisté stabilizaci sítě.

Na druhou stranu je třeba uvážit, že při převedení celé individuální dopravy na elektrickou by musela vzniknout nabíjecí infrastruktura, která by byla často připojená na vyšší napěťovou úroveň (22 kV).

2.2.2 Energetická náročnost získávání paliv a elektrické energie

Z úvah a faktů uvedených v *Kapitole 1* je podle mého názoru zřejmé, že hledisko energetické náročnosti, ač v současnosti zatím většinou přehlížené, bude s přibývajícím časem a ubýváním dnešních levných zdrojů energií nabývat (a to nejen v oblasti dopravy) stále většího významu. V dalších odstavcích se proto budu zabývat energetickou náročností získávání paliv.

Důležitým parametrem v této oblasti je energetická návratnost *ERoEI* (Energy Return on Energy Invested), která udává, kolik energie je třeba vynaložit (např. při těžbě a zpracování) na získání energetických zdrojů (ropy, uhlí, uranu...). V podstatě jde o to, o jakou část energie v palivech ukryté přijdeme vynaložením energie na její získání.

Dalším důležitým parametrem je účinnost přeměny takto získané energie na využitelnou práci.

Paliva pro spalovací motor

V našich podmínkách se sice využívá ropa, která k nám proudí ropovodem z nalezišť v zemích bývalého Sovětského svazu, ale většina Evropy (i světa) získává ropu námořní cestou z nalezišť na Blízkém východě. Nejčastěji udávaná hodnota *ERoEI* pro tuto ropu je 30, což znamená, že na vytěžení např. třiceti barelů ropy se spotřebuje energie obsažená v jednom barelu ropy.

Tyto náklady nemusí být samozřejmě hrazeny jen energií získanou z ropy, k jejich pokrytí lze použít jakýkoliv jiný energetický zdroj, například uhlí, jadernou či vodní energii apod.

Chceme-li získat benzín či jiný konečný ropný produkt, musíme do úpravy ropy vložit další energii, jejíž množství závisí především na kvalitě ropy (čím kvalitnější ropa, tím menší náklady na její zpracování) a požadované kvalitě a množství výsledných produktů. Tyto požadavky se u paliv pro motorová vozidla stále zvyšují, zejména vzhledem ke stále se zpřísňujícím emisním limitům výfukových plynů.

Energetická náročnost výroby benzínu se dá přímo zjistit pomocí hodnoty *ERoEI* udávané pro benzín různými zdroji, např. [8], [14], [20] a pohybuje se v rozmezí 5 až 15. Pro naše výpočty se budeme držet asi nejčastěji udávané hodnoty, tj. 8, což je velice solidní číslo, které je ovšem dané vysokým obsahem energie ukryté v ropě (viz. *Tabulka 5*).

Je třeba si však uvědomit, že energetická návratnost ropných produktů se bude s ubývajícími zásobami a s většími náklady na prospekci a těžbu nových ložisek výrazně zmenšovat.

Výroba elektřiny

Elektrická energie se v ČR vyrábí především v uhelných a jaderných elektrárnách, v menší míře pak i z obnovitelných zdrojů (viz. *Tabulka 11*).

Tabulka 11 Výroba elektřiny v ČR 2008 [22]

	Parní a paroplynové	Jaderné	Vodní	Ostatní	Celkem
Výroba (GWh)	54 319	26 551	2 376	272	83 518
Podíl (%)	65,04	31,79	2,84	0,33	100

Účinnost uhelných elektráren

Účinnost přeměny energie obsažené v uhlí na mechanickou práci na hřídeli parní turbíny se soustrojím o výkonu alespoň 100 kW udává *Tabulka 12*. Z té vyplývá, že k pohonu alternátoru se využije jen 35 % energetického obsahu uhlí, nově budované či rekonstruované uhelné elektrárny by měly mít účinnost alespoň 40 %.

Výhřevnost prachového hnědého uhlí je kolem 11 MJ/kg, tj. zhruba 3,1 kWh/kg [21].

Elektřina na výstupu z generátoru je tedy vyrobena s touto energetickou bilancí:

- získávání nekvalitního uhlí má *ERoEI* podle [2] asi 4 – 10, kvalitního 10 – 20, podle [14] má uhlí 10 – 20; vzhledem ke spalovanému prachovému uhlí uvažujme tuto hodnotu zhruba 7, tzn. že se využije 86 % energie ukryté v uhlí;
- doprava do elektrárny probíhá s účinností 99 %;
- výroba elektřiny v moderní parní elektrárně probíhá s účinností zhruba 40 %.

Po vynásobení vychází, že při výrobě elektřiny v moderních uhelných elektrárnách se využije jen 34 % energie uhlí, které se nachází v dolech.

Tabulka 12 Účinnost uhelné elektrárny [3]

Energetická přeměna	Dílčí ztráty	Účinnost	
		Dílčí	Celková
V parním kotli	0,2	0,8	0,8
V parní turbíně	0,1	0,9	0,72
V kondenzaci páry	0,48	0,52	0,37
V pomocných pohonech	0,05	0,95	0,35
V generátoru 10 kV/50Hz	0,03	0,97	0,34

Příklad: V dole se nachází 100 kg uhlí \approx 310 kWh. Abych ho dostal na povrch, spotřebuji 1/7 jeho energie, tj. 44,3 kWh. Zbývá mi tak 85,7 kg \approx 265,7 kWh.

Na dopravu do elektrárny z toho spotřebuji 1 %, tj. 0,9 kg \approx 2,7 kWh.

Celkem jsem spotřeboval 15,2 kg \approx 47 kWh, zbývá mi 84,8 kg \approx 263 kWh.

V elektrárně přeměním 40 % energie zbylého uhlí na elektřinu, vznikne tak 105,2 kWh elektrické energie.

Vkladem 47 kWh jsem vyrobil 105,2 kWh elektrické energie, což znamená energetický zisk uhelné energetiky 2,2.

$ERoEI = zisk + 1 = 2,2 + 1 = 3,2$.

Účinnost jaderných elektráren

Parametr *ERoEI* je různými zdroji udáván přímo pro celou jadernou energetiku, jejich údaje jsou ale velmi odlišné. Hodnoty se pohybují dle [8] a [15] od 2 do 12, dále například dle [14] přes 10 – 24, až po 43 – 59. Lze to chápat tak, že některé zdroje (např. [15]) se snaží započítat i veškeré vlivy na životní prostředí, tj. energii potřebnou k rekultivaci půdy po těžbě, likvidaci elektrárny po skončení životního cyklu apod., kdežto jiné zdroje počítají pouze tok energií vložených do procesu získávání energetického zdroje; rozdíl je i v uvažovaných typech a životnosti reaktorů.

Odlišné údaje zdrojů (např. [14] – odkazy 1 a 2) jsou zřejmě dány uvažováním různých technologií obohacování paliv. Difúzní obohacování uranu je několikanásobně energeticky náročnější než většinou používané obohacování odstředivé, které je však z hlediska vyrobeného množství paliva z daného množství přírodního uranu mnohem méně účinné.

Abychom mohli alespoň v nějaké míře porovnat energetickou náročnost získávání paliva pro uhelnou a jadernou elektrárnu, měli bychom, podobně jako u uhlí, znát hodnotu *ERoEI* pro jaderné palivo. Ta se běžně neudává, nicméně dle [15] se vynaložením energie 43,2 PJ na těžbu rudy a výrobu paliva získá štěpnou reakcí tohoto paliva 2 424,3 PJ tepelné energie (vztaženo na celou životnost elektrárny). To znamená, že *ERoEI* samotného uranového paliva je zhruba 56, tj. 8× větší než uhlí. Vzhledem k tomu, že jaderná elektrárna je v podstatě typem elektrárny tepelné s účinností přeměny tepelné energie na elektrickou asi 33 % [16], [17], můžeme pro naše účely uvažovat *ERoEI* jaderné energetiky zhruba 18.

Pozn. 1: V reaktoru temelínskému typu se využívá necelé 1 % energie, kterou by bylo možno získat, pokud by byly rozštěpeny všechny atomy uranu.

*Pozn. 2: Dle [15] je energetický zisk celého řetězce jaderné energetiky (při předpokládané životnosti elektrárny 30 let a bohatosti uranové rudy 0,15 %) zhruba 1 (*ERoEI* = 2), tzn. že elektrárna vyrobí za dobu své životnosti dvojnásobné množství elektrické energie, než bylo celkové množství energie vložené do výroby (to zahrnuje těžbu a zpracování rudy, výrobu paliva, likvidaci vyhořelého paliva, stavbu, údržbu a likvidaci elektrárny, rekultivaci po těžbě atp.).*

2.2.3 Porovnání energetických bilancí vozidel se spalovacím a elektrickým motorem

Z porovnání celkové energetické bilance obou koncepcí pohonů vyplývá následující.

Spalovací motory

Vozidla s benzínovým spalovacím motorem spotřebují v ČR ročně asi $1,96 \cdot 10^9$ kg benzínu, to odpovídá energii 23 771 GWh. Při *ERoEI* benzínu 8 se musí na získání tohoto množství benzínu vynaložit energie

$$\frac{1}{8} \cdot 23771 = 2971 \text{ GWh,}$$

celková energie potřebná pro pohon vozidel je tedy

$$23\,771 + 2\,971 = 26\,742 \text{ GWh.}$$

Elektrické motory

V odstavci 2.2.1 jsme dospěli k potřebné roční výrobě elektrické energie pro pohon vozidel s elektrickým motorem asi 10 500 GWh. Celková účinnost výroby elektřiny v ČR v roce 2008 vychází dle ČSÚ na zhruba 36 %.

Do výroby 10 500 GWh elektrické energie se proto musí vložit energie

$$\frac{10500}{0,36} \cong 29167 \text{ GWh,}$$

která je obsažená drtivou většinou v uhlí a uranu.

Při *ERoEI* uhlí 7 a podílu uhelných elektráren na výrobě elektrické energie 63 %, se na jeho získání musí vydat energie

$$\frac{1}{7} \cdot 29167 \cdot 0,63 \cong 2625 \text{ GWh.}$$

Při *ERoEI* jaderného paliva 56 a podílu jaderných elektráren na výrobě elektřiny 32 %, se na jeho získání musí vydat energie

$$\frac{1}{56} \cdot 29167 \cdot 0,32 \cong 167 \text{ GWh.}$$

Na získání paliv pro výrobu elektrické energie se spotřebuje

$$2\,625 + 167 = 2\,792 \text{ GWh.}$$

Celková energie potřebná pro pohon vozidel by byla:

vložená energie paliv do výroby elektřiny v elektrárnách + spotřeba energie na získání paliv, což je $29\,167 + 2\,792 = 31\,959$ GWh.

Podíl energetických náročností vozidel s benzínových a elektrickým pohonem je přibližně 0,84 (26 742 GWh ku 31 959 GWh). Jde však jen o přibližné srovnání při akceptování zjednodušení uvedených v odstavci 2.2.1, tzn. stejná hmotnost vozidel (ve skutečnosti by byl elektromobil těžší), neuvažování možnosti rekuperace elektromobilů a neuvažovaná spotřeba paliva spalovacího motoru při stojícím vozidle.

Rekuperační brzdění elektromobilů

Jelikož se množství energie získané během rekuperačního brzdění odhaduje v závislosti na jízdním cyklu dle různých zdrojů až na 25 % (ve městě nejvíce, v členitém terénu méně, v rovinném terénu téměř nic), což není úplně zanedbatelné, pokusíme se tento fakt zahrnout do výpočtu bilance elektromobilů při jinak nezměněných podmínkách. Zisk z rekuperace budeme uvažovat 10 % z energie sloužící přímo pro pohon vozidla, která je v *Tabulce 8* označená jako *Čistá využitá energie*.

Celková situace by vypadala takto:

- potřebná energie dodaná na hnací kola (*Čistá využitá energie*) dříve vypočtená na 4 041 GWh by zůstala stejná, zisk by tvořil 10 % z této hodnoty, tj. asi 404 GWh;
- na baterie by stačilo dodat ze sítě energii zmenšenou o tento zisk, tzn.

$$5\,773 - 404 = 5\,369 \text{ GWh};$$

- z nabíjecí zásuvky by se při již zmíněné účinnosti nabíjení 80 % odebrala energie

$$\frac{5369}{0,8} = 6711 \text{ GWh};$$

- ze svorek generátorů v elektrárně by se při opět již zmíněné účinnosti přenosu 69 % odebrala energie

$$\frac{6711}{0,69} \cong 9726 \text{ GWh};$$

- do výroby této elektrické energie s účinností 36 % by se muselo vložit zhruba 27 000 GWh energie, vyrobené především z uhlí a jaderného paliva;
- dále by se při použití stejných postupů jako v minulém odstavci zjistila celková energie vydaná na získání paliv (uhlí + uranu) ve výši asi 2 600 GWh.

Celková energie potřebná pro pohon vozidel by vyšla na

$$27\,000 + 2\,600 = 29\,600 \text{ GWh},$$

což znamená, že uvažovaný 10 % zisk z rekuperačního brzdění se projeví v celém řetězci energetické náročnosti jejím snížením asi o 7,5 %.

Poměr energetické náročnosti benzínových a elektrických vozidel by tentokrát vyšel 0,90 (26 742 GWh ku 29 600 GWh) a bylo by zřejmě možné konstatovat, že za současných podmínek panujících v České republice jsou si obě koncepce vozidel z hlediska energetické náročnosti prakticky rovny.

2.3. Vlivy na životní prostředí

Pokud jsem v předchozí kapitole uvedl, že problematika energetické náročnosti bude s přibývajícím časem nabývat na významu, pak z hlediska životního prostředí je situace snad ještě aktuálnější. Vlivy současné dopravy na životní prostředí byly popsány v odstavci 1.2, zde se tedy budu zabývat tím, jestli by elektromobily mohly být z tohoto hlediska úspěšnější. Výchozími údaji budou výsledky energetické bilance z předchozí části a údaje z odstavce 1.2.

Abychom dospěli k co nejobjektivnějším výsledkům, museli bychom do tohoto srovnání zahrnout celkové vlivy na životní prostředí pomocí analýzy LCA (Life Cycle Assessment), což je metoda pro celkové zhodnocení životního cyklu produktu nebo služby z hlediska jeho působení na životní prostředí.

V tomto případě by to znamenalo zahrnout:

- vliv těžby a výroby paliv pro:
 - vozidla se spalovacím motorem;

- výrobu elektrické energie pro pohon elektromobilů (uhlí, uran...);
- vliv výroby elektrické energie pro elektromobily (provoz elektráren);
- vlivy vznikající provozem vozidel, především výfukové plyny, ale i vlivy ostatní, jako například hluk;
- v neposlední řadě i ekonomicko-environmentální náklady na odstranění škodlivých účinků těchto vlivů.

V naší analýze budeme pro jednoduchost vlivy vznikající výrobou vozidel a jejich likvidací, považovat za stejné u obou koncepcí, stejně tak vykompenzujeme i vlivy vznikající při likvidaci spotřebovaných provozních hmot (maziv, chladiv) na jedné straně a baterií na straně druhé.

Jelikož dominantní podíl na zátěži životního prostředí při provozu vozidel se spalovacím motorem obstarává samotný provoz vozidel (v oblasti emisí CO₂ se tento podíl dle [18] pohybuje na úrovni zhruba 73 %, viz. *Graf 4*), budeme se v dalším zabývat především znečišťováním ovzduší při provozu, zjednodušeně se však budu snažit zahrnout i emise vzniklé výrobou paliv.

U elektromobilů se analogicky budeme zabývat znečišťováním prostředí při výrobě elektrické energie.

2.3.1 Porovnání emisí škodlivých látek

Z hlediska životního prostředí jsou pravděpodobně podstatným problémem emise skleníkových plynů, především CO₂, jelikož zatím neexistují technologie k jejich snížení, likvidaci nebo alespoň skladování. Zabývejme se tedy nejprve tímto problémem.

CO₂ Spalovací motory

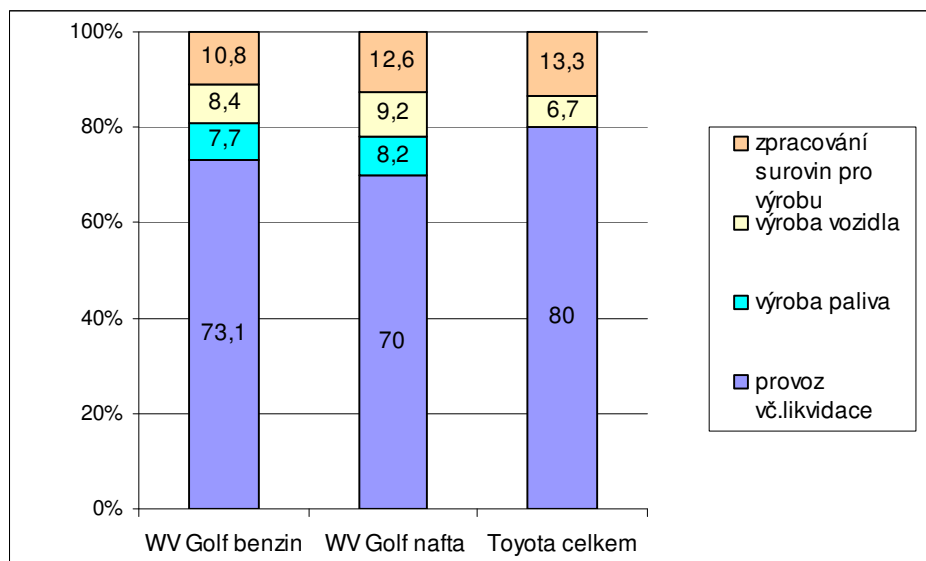
Vezměme údaj z *Tabulky 7* o celkové spotřebě paliv pro benzínové automobily, což je asi $1,96 \cdot 10^9$ kg benzínu ročně. Spálením 1 tuny benzínu vznikne za ideálních podmínek 2,4 tuny CO₂ (výpočet dle [7], benzín je složen pouze z alkanů, neobsahuje žádné nečistoty, přísady ani příměsi, oxidace benzínu je úplná až na CO₂ a H₂O), spálením $1,96 \cdot 10^9$ kg benzínu vznikne $4,704 \cdot 10^6$ tun CO₂.

Ve skutečnosti bude blíže realitě hodnota $6,274 \cdot 10^6$ tun vypočtená pomocí *Tabulky 7* a [19], která zohledňuje jistý obsah příměsí ve složení benzínu, zhoršené poměry při reálném spalování a vznik dalších emisí CO₂ oxidací CO v katalyzátoru. To znamená měrné emise ve výši 3,2 kg CO₂/kg benzínu, neboli 168 g CO₂/km. Tato hodnota se celkem dobře shoduje s hodnotou emisí CO₂ udávanou výrobcí vozidel.

Pro postihnutí emisí CO₂ při výrobě benzínu postupují takto:

- jak již bylo uvedeno, *ERoEI* benzínu budeme uvažovat 8, z čehož vyplývá, že na výrobu 1,96 milionu tun benzínu spotřebovaného ročně osobními automobily, jehož energetický obsah je 23 771 GWh (viz. *Tabulka 7*) se spotřebuje energie

$$\frac{1}{8} \cdot 23771 \cong 2971 \text{ GWh};$$



Pozn.: U Toyoty není výroba paliva uvedena, spadá zřejmě pod provoz

Graf 4 Produkce CO₂ v životním cyklu vozidel [18]

- při získávání této energie vzniknou určité emise, které je třeba připočítat k celkové bilanci;
- jejich posuzováním bychom se dostali do teoreticky nekonečného cyklu zjišťování podílů různých zdrojů emisí pro výrobu této energie (pro těžbu ropy a výrobu benzínu se spotřebovává především elektrická energie, ta se vyrábí na místě těžby zřejmě spalováním ropy, v ČR spalováním uhlí a uranu, tato paliva se však opět získávají pomocí elektrické energie atd.);
- v prvním případě uvažujme nejprve pro jednoduchost, že se výše uvedené množství energie (2 971 GWh) získá spálením benzínu o výhřevnosti 12,11 kWh/kg, neboli prostě spálíme jednu osminu z celkového množství benzínu, tzn.

$$\frac{1}{8} \cdot 1,96 \cdot 10^9 = 2,45 \cdot 10^8 \text{ kg} = 245 000 \text{ tun benzínu};$$

- měrné emise dle prvního odstavce jsou 3,2 t CO₂/t benzínu a celkové emise CO₂ z výroby benzínu vyjdou zhruba 784 000 tun;
- celkové roční emise CO₂ ze spotřeby a výroby benzínu jsou

$$(6,274 + 0,784) \cdot 10^6 = 7,058 \cdot 10^6 \text{ tun,}$$

přičemž podíl emisí z výroby na emisích ze spotřeby je asi 12,5 %;

- v druhém případě zmíněných 2 971 GWh investujeme do výroby elektrické energie ze skladby zdrojů používaných v ČR, vyrobená elektrická energie vyjde při účinnosti výroby cca 36 % zhruba na 1 070 GWh;

– toto množství je zatíženo měrnými emisemi CO₂ 577 t/GWh (bude vysvětleno v dalším odstavci), což znamená, že celkové emise CO₂ při výrobě benzínu vychází 617 136 tun;

– celkové roční emise CO₂ ze spotřeby a výroby benzínu jsou

$$(6,274 + 0,617) \cdot 10^6 = 6,891 \cdot 10^6 \text{ tun,}$$

přičemž podíl emisí z výroby na emisích ze spotřeby je asi 9,8 %.

Při zprůměrování výsledných hodnot obou případů dostaneme:

- celkové emise CO₂ z výroby a spotřeby benzínu ve výši 6 975 000 tun;
- podíl emisí z výroby ku emisím při spotřebě ve výši 11,2 %; to se celkem dobře shoduje s údaji v 1. sloupci *Grafu 4*, kde tento poměr vychází 10,5 %.

CO₂ Elektromobily

Z internetových stránek skupiny ČEZ lze zjistit celkové emise CO₂ za rok 2008 ve výši 33 768 688 tun, a dále i údaje ohledně skladby zdrojů.

Tabulka 13 Výtah z palivového mixu ČEZ 2008

	Výroba (GWh)	Podíl na výrobě (%)
Uhelné	36 292	53,69
Obnovitelné	1 453	2,15
Ostatní	29 850	44,16
Celkem	67 595	100

Abychom z toho dospěli k emisím z výroby elektrické energie za celou ČR, které jsem nikde neobjevil, postupuji takto:

- podíl výroby ČEZu ku výrobě v celé ČR činí 67 595 ku 83 518, tj. 81 %;
- uvažuji, že emise CO₂ vznikají v uhelných elektrárnách a částečně i na obnovitelných zdrojích, což je podle *Tabulky 13* na zhruba 55 % zdrojů, tj. na zhruba 37 200 GWh;
- z toho určím měrné emise CO₂ elektráren ČEZu podílejících se na jeho produkci jako

$$\frac{\text{emise}}{\text{výroba}} = \frac{33768688}{37200} \cong 908 \text{ tun/GWh;}$$

- dále předpokládám, že rozdíl výroba celá ČR minus výroba ČEZ, který činí
 $83\,518 - 67\,595 = 15\,923$ GWh,
 je hrazen elektrárnami produkujícími CO₂, tzn. že je zatížen opět měrnými emisemi
 908 tun/GWh, celkově tedy 14 458 084 tunami CO₂;
- suma CO₂ pro celou ČR je
 $33\,768\,688 + 14\,458\,084 = 48\,226\,772$ tun,
- měrné emise pro celou ČR jsou tedy

$$\frac{emise}{výroba} = \frac{48226772}{83518} \cong 577 \text{ tun/GWh};$$
- dle výpočtů v závěru odstavce 2.2.1 je třeba pro pohon elektromobilů vyrobit asi
 10 500 GWh elektrické energie ročně, přičemž vznikne
 $577 \times 10\,500 = 6\,058\,500$ tun CO₂.

Tímto jsme spočítali emise z výroby elektřiny, dále bychom měli, podobně jako v případě benzínu, zahrnout i emise vniklé získáváním paliv pro výrobu elektřiny.

Co se týká uranu, dle [15] je těžba, výroba a manipulace s palivem zatížena měrnými emisemi CO₂ zhruba 40 tun/GWh, což znamená, že emise CO₂ vycházejí jako

měrné emise \times výroba jaderných elektráren $\times p_{EIC} = 40 \times 26\,551 \times 0,126 = 133\,817$ tun, kde p_{EIC} je poměr elektřiny vyrobené pro elektromobily ku celkově vyrobené.

$$p_{EIC} = \frac{10500}{83518} \cong 0,126$$

U uhlí jsou postup i úvahy shodné se situací u benzínu:

- *ERoEI* pro prachové hnědé uhlí je 7, na výrobu elektrické energie v uhelných elektrárnách v ČR (ČEZ + zbytek = 36 292 + 15 923 = 52 215 GWh) je potřeba, při uvažované 40 % účinnosti těchto elektráren, energie uhlí asi

$$\frac{52215}{0,4} \cong 130538 \text{ GWh};$$

- pro získání tohoto množství energie je potřeba vložit energii

$$\frac{1}{7} \cdot 130538 \cong 18648 \text{ GWh};$$

- vložením této energie do výroby elektřiny s účinností 36 % (průměrná účinnost výroby elektřiny v ČR), zatíženou měrnými emisemi 577 tun/GWh, jsou emise CO₂ při získávání uhlí
 $577 \times 18\,648 \times 0,36 = 3\,873\,563$ tun;
- výroba elektrické energie pro elektromobily je zatížena jen poměrem p_{EIC} , tedy

$577 \times 18\,648 \times 0,36 \times 0,126 = 488\,069$ tun;

- celkové emise CO₂ z výroby paliv (uran + uhlí) jsou
 $133\,817 + 488\,069 = 621\,886$ tun.

Celkové emise CO₂ z výroby elektrické energie a ze získání paliv pro tuto výrobu jsou
 $6\,123\,124 + 621\,886 = 6\,745\,010$ tun.

Srovnání obou koncepcí z hlediska produkce CO₂

Při porovnání obou koncepcí je vidět, že celkové emise CO₂ produkované vozidly s benzínovými motory jsou prakticky shodné z celkovými emisemi vyprodukovanými elektromobily, jejich poměr je asi 1,03. Přehled uvádí následující *Tabulka 14*.

Tabulka 14 Celková roční produkce CO₂ vozidel

	Provoz vozidel (Mtun)	Výroba paliv (Mtun)	Výroba elektřiny (Mtun)	Celkem (Mtun)	Měrné emise (g/kWh)	Měrné emise (g/kWh využitou)
Benzínové m.	6,274	0,701	-	6,975	293	1 726
Elektromotory	-	0,622	6,123	6,745	1 168	1 669

Pozn.: Hodnoty v posledních dvou sloupcích jsou vypočteny z hodnot uvedených v Tabulce 7.

** měrné emise vztažené na energii uloženou v palivu v nádrži nebo na energii uloženou v bateriích*

Toto srovnání je velice hrubé a platí pro elektřinu vyrobenou současným energetickým mixem zdrojů v ČR. Obecné hodnoty *ERoEI* nejsou (a ani nemůžou být) vše postihující, v této analýze jsem možná v tomto parametru „stranil“ spíše spalovacími motorům. Při výrobě paliv záleží na mnoha faktorech – ropa se získává stále složitějšími postupy, výroba benzínu probíhá z důvodů větší výtěžnosti i z důvodů vyšších nároků na kvalitu stále složitějšími technologickými postupy, které jsou energeticky a tím i environmentálně náročnější; situace u jaderných paliv je také velice nepřehledná, záleží zde na bohatosti rudy, která se v různých ložiscích liší od setin procenta až do jednotek procent, velmi záleží na způsobu obohacování paliva a mnoha dalších faktorech, které jsou rozebírány z mnoha pohledů v různých analýzách, jejichž výsledky se často výrazně liší, viz. *Účinnost jaderných elektráren* v odstavci 2.2.2.

Ostatní znečišťující látky

V *Tabulce 15* jsou uvedeny emise ostatních důležitých polutantů pocházející z výroby elektřiny energetickým mixem ČR 2008 a emise způsobené individuální automobilovou dopravou (samostatné údaje pro benzínové motory jsem nezjistil). Tyto emise jsou vztaženy na množství elektřiny vyrobené pro elektromobily a na množství paliva spotřebovaného osobními vozidly se spalovacími motory (nafta + benzín).

Z údajů vyplývá, že centrální výroba elektřiny je zatížena poměrně vysokými emisemi oxidů siřičitého a uhelnatého, naproti tomu produkuje minimum těkavých organických látek (VOC), polycyklických aromatických uhlovodíků a oxidu dusného; u oxidů dusíku je bilance prakticky vyrovnaná.

Tabulka 15 Emisní situace různých polutantů vztahované na celkovou energii potřebnou pro provoz vozidel (v tunách) [4, 10, vlastní výpočty]

	Emise NO _x	Emise SO _x	Emise CO	Emise VOC
IAD	16 489	314	84 180	10 923
Energetika	13 928	13 333	120 000	880

Obě koncepce dosáhly během posledních dvaceti let v poklesu produkce a čištění škodlivých látek výrazného pokroku. ČEZ udává během této doby snížení emisí oxidu siřičitého o 92 %, pevných částic popílku o 95 %, oxidů dusíku o 50 % a oxidu uhelnatého o 77 %.

Podobný efekt způsobilo v oblasti spalovacích motorů zpříšňování evropských emisních norem EURO 1 až 5 (viz. *Tabulka 16*), řízené katalyzátory v optimálním režimu snižují emise oxidů dusíku až o 95 %, oxidu uhelnatého až o 80 % a sloučenin C_xH_y až o 90 %.

Tabulka 16 Vývoj emisních norem (v g/km) [19]

Benzín	Platnost	CO	HC	NO _x	HC+NO _x	PM
Euro 1	od 1993	2,72	-	-	0,97	-
Euro 3	2000	1,30	0,200	0,15	-	-
Euro 5	od září 2009	1,00	0,075	0,06	-	0,005

2.3.2 Porovnání ostatních vlivů

Hluk

Škodlivé účinky hluku jsou popsány v odstavci 1.2.3. Z tohoto hlediska je situace zřejmá, elektromobily produkují nižší úroveň hluku než běžné automobily, na druhou stranu je třeba také konstatovat, že u novějších vozidel se spalovacími motory se již podařilo hladinu hluku podstatně eliminovat.

Hlučnost elektromobilů je při malých rychlostech dána v podstatě jen hlukem pneumatik po podkladu, to však může paradoxně činit problémy v oblasti bezpečnosti, vzhledem ke ztížení orientace nemotorizovaných účastníků dopravního procesu (chodců a cyklistů) v dopravní situaci (ztížená orientace dle zvukových vjemů).

Vznik odpadů

Do této široké oblasti patří zejména:

- odpady vzniklé přímo provozem vozidel
 - použité provozní hmoty (maziva, chladiva...);
 - použité díly vozidel;
 - celé autovraky (po skončení životnosti vozidel).

Z hlediska elektromobilů vzniká přímo provozem jen zanedbatelné množství odpadů oproti konvenčním vozidlům, v tomto ohledu tak bude hrát zřejmě významnou roli výroba a likvidace použitých baterií. Jelikož jsou elektromobily také konstrukčně jednodušší, bude jednodušší i likvidace jejich vraků.

- odpady vzniklé při výrobě vozidel
 - odpady vzniklé těžbou surovin pro výrobu automobilových materiálů;
 - odpady vzniklé přímo výrobou automobilů.
- odpady vzniklé získáváním a výrobou paliv
 - odpady z těžby, dopravy a zpracování ropy, uhlí a uranových rud;
 - radioaktivní odpady vzniklé provozem jak jaderných, tak i uhelných elektráren; odpady z jaderných elektráren se skladují zatím v přechodných úložištích přímo v jejich objektech (meziskladech), vybudování definitivního úložiště je náročná a nákladná záležitost, navíc je vždy nastolení této otázky vnímáno velmi citlivě veřejností.

Důkladné posouzení těchto otázek nelze v této práci provést, je to opět záležitostí odborné analýzy.

2.4. Výhled do budoucnosti z hlediska energetické náročnosti a produkce znečišťujících látek

Jelikož lze těžko předpokládat, že se současné energetické podmínky v ČR nebudou s časem měnit, pokusím se v této kapitole zjistit, jak se případná změna odrazí na energetické a environmentální bilanci vozidel. Pro jednoduchost uvažujme pouze změny, které hodlá uskutečnit ČEZ během dalších zhruba deseti až patnácti let, totiž dostavbu a spuštění dvou 1 000 MW bloků jaderné elektrárny Temelín a odstavení uhelných elektráren Chvaletice, Pruněřov I a Mělník III o celkovém výkonu 1 740 MW. Uvažujme též zvýšení produkce bezemisních zdrojů na čtyřnásobek, tzn. asi na 10 000 GWh.

Ostatní parametry, jako počet vozidel, ztráty v sítích a účinnost výroby elektřiny ponechme stejné jako v roce 2008.

2.4.1 Energetická náročnost

Změny v energetickém mixu naznačuje následující *Tabulka 17*.

Tabulka 17 Srovnání potencionálního energetického mixu ČR 2020 s rokem 2008

Rok		Parní a paroplynové	Jaderné	Ostatní	Celkem
2008	Výroba (GWh)	54 319	26 551	2 648	83 518
	Podíl (%)	65,04	31,79	3,17	100
2020	Výroba (GWh)	42 600	40 000	10 000	92 600
	Podíl (%)	46	43,2	10,8	100

Při použití předchozích postupů dojdeme k následujícímu:

- do výroby 10 500 GWh elektrické energie pro pohon elektromobilů by se musela vložit stále energie 29 167 GWh, která by byla opět obsažená především v uhlí a uranu;
- při *ERoEI* uhlí 7 a jeho podílu na výrobě elektrické energie 46 %, by se na jeho získání vydala energie

$$\frac{1}{7} \cdot 29167 \cdot 0,46 \cong 1917 \text{ GWh};$$

- při *ERoEI* jaderného paliva 56 a podílu na výrobě 43 %, by se na jeho získání musela vydat energie

$$\frac{1}{56} \cdot 29167 \cdot 0,43 \cong 224 \text{ GWh};$$

- na získání paliv pro výrobu elektrické energie by se spotřebovala energie
 $1\,917 + 224 = 2\,141 \text{ GWh};$
- celková energie potřebná pro pohon vozidel by byla:
vložená energie paliv do výroby elektřiny v elektrárnách + spotřeba energie na získání paliv, což je
 $29\,167 + 2\,141 = 31\,308 \text{ GWh}.$

Srovnáním výsledných údajů (31 959 GWh v r. 2008 a 31 308 GWh v r. 2020) zjistíme, že z hlediska energetické účinnosti bude rozdíl asi 2 %, tudíž celkem zanedbatelný.

Rozhodujícím faktorem pro výpočet celého řetězce energetické účinnosti elektrické energie není tedy skladba zdrojů pro její výrobu, ale především účinnost přeměny tepla na elektrickou energii a její distribuce (pokud bychom uvažovali jen výrobu elektřiny z uhlí, byly by energetické náklady na získání uhlí 4 167 GWh, při uvažování výroby pouze v jaderných elektrárnách by náklady na získání uranového paliva byly 521 GWh, z čehož vyplývá, že vzhledem k požadovanému

množství 29 167 GWh, které je třeba vložit do výroby elektrické energie, se podíl energie vydané na získávání paliv pohybuje mezi 1,8 až 14,3 %).

2.4.2 Životní prostředí

Skladba zdrojů je však rozhodujícím činitelem při posuzování vlivů na životní prostředí. Nejprve se opět budeme věnovat emisím CO₂. Pro výpočet použijeme opět již dříve uvedené postupy a hodnoty, jejichž použitím dostaneme následující údaje:

- měrné emise uhelných elektráren ponecháme 908 tun/GWh,
- celkové emise CO₂ pro celou ČR budou
 $42\,600 \times 908 = 38\,680\,800$ tun
- měrné emise pro celou výrobu v ČR jsou

$$\frac{\text{emise}}{\text{výroba}} = \frac{38\,680\,800}{92\,600} \cong 418 \text{ tun/GWh};$$

- dle výpočtů v závěru odstavce 2.2.1 je potřeba pro pohon elektromobilů vyrobit 10 500 GWh elektrické energie ročně, přičemž vznikne
 $418 \times 10\,500 = 4\,389\,000$ tun CO₂.

Tímto jsme spočítali emise z výroby elektřiny, dále opět zahrneme emise vniklé získáváním paliv pro výrobu elektřiny.

Poměr elektřiny vyrobené pro elektromobily ku celkově vyrobené je nyní

$$p_{E/C} = \frac{10\,500}{92\,600} \cong 0,113$$

Pro uran vycházejí emise CO₂ takto:

- měrné emise \times výroba jaderných elektráren $\times p_{E/C}$, tj.
 $40 \times 40\,000 \times 0,113 = 180\,800$ tun.

Pro uhlí vycházejí emise CO₂ takto:

- na výrobu 42 600 GWh elektřiny je potřeba při účinnosti přeměny 40 % dodat energii

$$\frac{42\,600}{0,4} = 106\,500 \text{ GWh};$$

- při *ERoEI* pro prachové hnědé uhlí 7 se na jeho získání spotřebuje energie

$$\frac{1}{7} \cdot 106\,500 \cong 15\,214 \text{ GWh};$$

- vložením této energie do výroby elektřiny s účinností 36 %, zatíženou měrnými emisemi 418 tun/GWh, jsou emise CO₂ při získávání uhlí
 $418 \times 15\,214 \times 0,36 = 2\,289\,403$ tun;

- na elektromobily připadá opět jen část daná poměrem $p_{E/C}$, tzn. celkové emise $\times p_{E/C} = 2\,289\,403 \times 0,113 = 258\,703$ tun CO₂;
- celkové emise CO₂ z výroby paliv jsou (uran + uhlí) jsou zhruba $180\,800 + 258\,703 = 439\,503$ tun.

Celkové emise CO₂ z výroby elektrické energie a z výroby paliv pro tuto energii jsou $4\,389\,000 + 439\,503 = 4\,828\,503$ tun.

Protože se změna energetických poměrů projeví, byť malou měrou, i ve výrobě benzínu, zahrneme tyto změny do výpočtu opět již použitým způsobem:

- předpokládejme množství energie potřebné na výrobu benzínu stejné jako v případě roku 2008, tj. 2 971 GWh;
- v prvním uvažovaném případě tedy vyjdou stejně i emise z výroby, tzn. 784 000 tun a celkové roční emise CO₂ ze spotřeby a výroby benzínu jsou opět 7 058 000 tun;
- v druhém případě zmíněných 2 971 GWh investujme do výroby elektrické energie ze skladby zdrojů používaných v ČR, množství vyrobené elektrická energie bude při účinnosti výroby 36 % zhruba 1 070 GWh;
 - toto množství je zatíženo měrnými emisemi CO₂ 418 t/GWh, což znamená celkové emise CO₂ při výrobě benzínu ve výši $1\,070 \times 418 = 447\,260$ tun;
 - celkové roční emise CO₂ ze spotřeby a výroby benzínu jsou $(6,274 + 0,447) \cdot 10^6 = 6,721 \cdot 10^6$ tun,
- při zprůměrování výsledných hodnot obou případů dostaneme celkové emise CO₂ z výroby a spotřeby benzínu ve výši 6 890 000 tun.

Celkové výsledky ukazuje *Tabulka 18* a je z nich zřejmé, že na rozdíl od energetické bilance se v případě emisí CO₂ projeví změna ve složení energetických zdrojů již celkem výrazně.

Tabulka 18 Porovnání emisí CO₂ vozidel v letech 2008 a 2020 (v tunách)

	2008	2020
Benzínový motor	6 975 000	6 890 000
Elektromotor	6 745 000	4 829 000
Poměr emisí elektro / benzín	97 %	70 %

Podobným způsobem by se vyvíjela i situace ostatních znečišťujících látek souvisejících z výrobou elektřiny v uhelných elektrárnách, jako jsou SO₂, NO_x a CO.

2.5. Porovnání ekonomických ukazatelů

V této kapitole bych se chtěl zabývat rozbořením ekonomické situace jak z pohledu státních daňových příjmů, tak i z pohledu koncového zákazníka.

2.5.1 Benzín

Cena benzínu se skládá z těchto položek:

- základní cena bez DPH – je dána volným obchodováním;
- spotřební daň – je vyhlášována státem, pro rok 2009 byla sazba 11,84 Kč/l (v roce 2010 již 12,84 Kč/l);
- DPH – činila 19 % (v roce 2010 již 20 %);

Budeme uvažovat situaci v roce 2009. Průměrná cena benzínu Natural 95 byla 26,80 Kč/l, přičemž daně z této částky činily:

spotřební daň + DPH = 11,84 + 4,57 = 16,41 Kč/litr.

Při spotřebě benzínu osobními automobily ve výši $1,96 \cdot 10^9$ kg ($\approx 2,68 \cdot 10^9$ litrům) vybral stát na daních

$$16,41 \times 2,68 \cdot 10^9 = 43,98 \cdot 10^9 \text{ Kč,}$$

neboli zhruba 44 miliard Kč.

Při výhřevnosti benzínu 8,841 kWh/l je každá kWh zatížena celkovou daní

$$16,41 / 8,841 = 1,86 \text{ Kč.}$$

I tak vychází cena za 1 kWh velmi příznivě, totiž na

$$26,8 / 8,841 = 3,03 \text{ Kč.}$$

Z hlediska koncového zákazníka nás bude zajímat cena benzínu vztažená na ujetou vzdálenost.

Ta při použití údajů uvedených v *Tabulce 7* vychází zhruba na 206 Kč/100 km.

2.5.2 Elektřina

Cena elektřiny se skládá z těchto položek:

- základní cena bez DPH
- regulovaná složka (především za distribuci)
- neregulovaná složka (za silovou elektřinu)
- spotřební daň, sazba je jednotná a činí 28,30 Kč/MWh.
- DPH – činila 19 % (v roce 2010 již 20 %)

Stejně jako u benzínu uvažujme situaci v roce 2009 a opět použijme údaje z *Tabulky 7*. Podle vlastní zkušenosti s platbou za elektřinu v tarifu D 45d (jistič 3×25 A, nízký tarif po dobu

20 hodin, který by byl jistě uplatnitelný i při nabíjení elektromobilů) vychází celková průměrná cena 2 906,49 Kč/MWh včetně DPH (2 442,42 Kč/MWh bez DPH).

Pro pohon elektromobilů potřebujeme dle odstavce 2.2.1 odebrat ze sítě asi 7 200 GWh. DPH činí 464,06 Kč/MWh a celková DPH z odebraného množství je $464\,060 \times 7\,200 = 3\,341\,232\,000$ Kč, neboli asi 3,3 miliardy Kč.

Cena za ujetí 100 km je dle údajů v *Tabulce 8* zhruba 56 Kč.

2.5.3 Porovnání ekonomické situace z pohledu státních daňových příjmů

Z porovnání státních daňových příjmů z benzínu a elektřiny vyplývá, že přechodem automobilové dopravy na elektrický pohon by příjmy klesly o zhruba 40 miliard Kč. To už je podstatný výpadek, který by stát jistě chtěl nějak nahradit. Jelikož lze těžko zdanit přímo elektřinu využitou pro nabíjení elektromobilů, v úvahu by asi přicházelo zdanění vozidel nebo baterií, případně jiné nástroje, v budoucnosti například přímé zpoplatnění užívání pozemních komunikací využitím mýtných bran nebo jiných systémů.

Tento stručný nástin ekonomické situace ani zdaleka nepostihuje celou šíři této problematiky, to by ale vyžadovalo provést celkem obsáhlou ekonomickou a sociální analýzu, zahrnující jak celý životní cyklus elektromobilů od výroby po likvidaci, tak i výrobu náhradních dílů (velmi důležitou součást automobilového průmyslu z hlediska ekonomického, ne-li přímo nejdůležitější), stejně jako výrobu paliv a mnohé jiné aspekty.

Je však zřejmé, že se elektromobil skládá z menšího počtu dílů než vozidlo se spalovacím motorem, proto lze očekávat z tohoto hlediska spíše nepříjemnosti (celkově menší spotřeba surovin a materiálů, z toho plynoucí menší zisk a zaměstnanost). Na druhou stranu by bylo jistě zajímavé zjistit ekonomický přínos elektromobilů v jiných oblastech života (např. nemocnost obyvatel vystavených nepříznivým vlivům současné individuální automobilové dopravy apod.).

2.5.4 Porovnání ekonomické situace z pohledu koncového zákazníka

Porovnáním cen z pohledu koncového zákazníka zjistíme, že provoz elektromobilů by vyšel o zhruba 150 Kč na 100 km levněji než provoz vozidel s benzínovými spalovacími motory. Pak bude samozřejmě záležet na ceně vozidla.

Porovnejme nyní obě koncepce pohonů na příkladech vozidel, pro které lze najít technické a cenové údaje v obou verzích pohonů. To jsou například Škoda Roomster s benzínovým motorem 1,2 TSI a elektrickým asynchronním motorem a malé vozidlo Smart s benzínovým motorem o obsahu 999 cm³, typ elektromotoru nezjištěn (viz. *Tabulka 19*).

Tabulka 19 Parametry elektrických a benzínových vozidlech

	Motor	Max. výkon (kW)	Max. točivý moment (Nm)	Hmotnost (kg)		Max. rychlost (km/h)	Průměrná spotřeba na 100 km		Průměrný dojezd	Cena vč. DPH (Kč)
				Pohot.	Užitečná		v litrech nebo kWh	v Kč		
Škoda Roomster	Benzín	63	160	1 221	530	172	5,7	153	965	284 900
	Elektro	70	175	1 322	530	130	12*	50	175	1 140 000
Smart	Benzín	52	92	750	270	145	4,4	118	682	298 462
	Elektro	30		770	270	90	10	29	90	660 000

Zdroj: ŠKODA AUTO a.s, Mercedes-Benz Česká republika s.r.o. – benzínový motor, EVC Group s.r.o. – elektromotor; ostatní výbava srovnávaných vozidel by měla být dle údajů výrobců totožná

* tento údaj považuji osobně za nadsazený, údaje o podobných vozidlech jiných výrobců hovoří většinou o spotřebě 15 – 20 kWh/100 km; zde bych se držel spotřeby včetně ztrát při nabíjení 17 kWh/100 km, podobně jako uvádí Tabulka 7

Roomster

Vezmeme-li z Tabulky 7, Tabulky 19 a z odstavců 2.5.1 a 2.5.2 údaje o ceně vozidel, průměrné najeté roční vzdálenosti benzínových vozidel asi 11 000 km, průměrné ceně benzínu 26,80 Kč/l a elektřiny 2,91 Kč/kWh zjistíme, že při započítání pouze samotných cen za palivo se rozdíl v pořizovacích cenách smaže po ujetí 830 194 km.

Smart

Při stejném srovnání se zde cenový rozdíl smaže po ujetí 406 222 km; lepší výsledek je dán poměrně vysokou cenou nového vozidla a menšími náklady na přestavbu oproti předchozímu případu (menší kapacita baterií, výkon motoru a dimenzování elektrických a elektronických prvků).

Tento nástin situace je silně deformován neexistencí sériové výroby nových vozidel a je uveden jen pro dokreslení situace.

2.6. Infrastruktura potřebná pro provoz vozidel

2.6.1 Vozidla se spalovacím motorem

V tomto případě prakticky neexistuje vážnější problém s koncovou (tankovací) infrastrukturou, ta je dlouholetým užíváním dopracována k všeobecné spokojenosti.

Problémy se však objevují v oblasti infrastruktury potřebné pro dopravu ropy z míst těžby do míst zpracování. Ty jsou způsobeny především její zastaralostí, protože v zemích těžících

nejvíce ropy byla vybudována většinou v 50-tých až 70-tých letech minulého století a její udržování v provozuschopném stavu je a bude velmi nákladné [2].

Pominout nelze ani škody, převážně ekologického charakteru, které při haváriích během těžby a dopravy vznikají, a které se svým celkovým devastujícím účinkem dají srovnat snad jen s havárií jaderné elektrárny. Protože však vznikají převážně na moři (havárie tankerů a ropných plošin), jejich přímý dopad na člověka není tak markantní, navíc se tyto škody zahltí mnohem rychleji než na pevnině.

2.6.2 Elektromobily

O možných problémech na přenosové soustavě je zmínka v odstavci 2.2.1, koncová veřejná nabíjecí infrastruktura vzhledem k počtu elektromobilů zatím až na několik výjimek neexistuje. Požadavky na nabíjení vozidel jsou řešeny především v domácích podmínkách jejich majitelů.

Pro zajímavost uvádím, že na internetové adrese

http://www.elektromobily.org/wiki/Mapy_nab%C3%ADjec%C3%ADch_stanic

lze však najít mapu jakési sítě neoficiálních míst, kde je možné elektromobil příležitostně dobít a která se celkem rychle rozrůstá. Jedná se především o místa s přístupnou zásuvkou vlastněnou příznivci elektromobility (parametry zásuvky, jako je napětí, typ a jistič bývají uvedeny), čemuž odpovídají podmínky připojení a ceny (většinou se požaduje předběžné ohlášení, dobíjení je často zdarma nebo za dobrovolný poplatek). Při pohledu na tuto mapu a praktickém dojezdu dnešních elektromobilů alespoň 100 km, by neměl být problém dostat se elektromobilem v ČR na jakékoliv místo. To samo o sobě samozřejmě nemůže nahradit veřejnou nabíjecí infrastrukturu, která by byla třeba při masivním uplatňování elektromobilů v individuální automobilové dopravě, ale leccos to naznačuje, když vezmeme v úvahu, že v ČR bylo v roce 2008 jen 11 registrovaných elektromobilů.

Jako nabíjecí místa přicházejí v úvahu především:

- **Domácí prostředí**

U rodinných domů problém asi neexistuje, pravděpodobně se vždy najde přípojně místo pro nabíjení. Pro dobítí baterií během noci (8 hodin) na ujetí 100 km stačí u běžných vozidel 230 V a 16 A jistič, energie dodaná do baterií je přibližně

$$E = U \cdot I \cdot t \cdot \eta = 0,23 \cdot 16 \cdot 8 \cdot 0,8 = 23,552 \text{ kWh} \quad [kWh; kV, A, h, -], \quad \text{kde}$$

t je doba nabíjení,

η je účinnost nabíjení

Problémy nastanou u majitelů elektromobilů žijících v bytových domech. V případě vlastnictví garáže lze nabíjení vyřešit dostatečně dimenzovanou přípojkou do objektu (existují-li kapacity dodavatele elektřiny), v případě stání „na ulici“ je veřejná infrastruktura nezbytná.

- **Zaměstnání**

U zaměstnavatelů s vlastním parkovištěm by asi nevznikl velký problém, dobíjecí infrastrukturu by šlo vybudovat napojením na stávající přípojku do objektu. Během pracovní doby lze akumulátory dostatečně nabít i malým proudem. V případě zaměstnavatelů, kteří nemají vlastní vyhrazené prostory pro parkování vozidel je opět veřejná nabíjecí infrastruktura nezbytná.

- **Na místech odstavení vozidla, při uskutečnění části cesty jiným dopravním prostředkem (vlaková nádraží apod.)**

V tomto případě by myslím vznikl velký prostor k vybudování potřebné infrastruktury pro majitele energetických zdrojů či přípojek a také odstavných ploch. U železničních stanic by se k tomuto účelu daly využít dnes už zřejmě předimenzované energetické přípojky v objektech stanic, na elektrizovaných tratích, zejména dvoukolejných, by neměl být problém vybudovat nabíjecí infrastrukturu napájenou z trolejového vedení v podstatě kdekoliv.

3. Závěr

Z výsledků rozborů obou koncepcí vozidel je vidět, že při respektování dříve uvedených zjednodušujících předpokladů jsou v uvedených parametrech rozdíly mezi vozidly poměrně malé (viz. *Tabulka 20*).

Tabulka 20 Porovnání roční energetické náročnosti (v GWh) a produkce CO₂ (v tis. tun) v současných podmínkách ČR

Typ motoru	Energetická náročnost			Produkce CO ₂			
	získávání paliv	provoz vozidel	celkem	získávání paliv	výroba elektřiny	provoz vozidel	celkem
Benzín	2 971	23 771	26 742	701	-	6 274	6 975
Elektro	2 792	29 167	31 959	622	6 123	0	6 745

Pokud bychom vzali v úvahu průměrnou úsporu energie elektromobilů rekuperačním brzděním ve výši 10 % z čisté využitě energie (přímo obstarávající pohyb vozidla), v celkovém řetězci energetické náročnosti by se to projevilo jejím snížením zhruba o 7,5 % (viz. odstavec 2.2.3) a bylo by možné konstatovat, že z hlediska energetické náročnosti i produkce CO₂ jsou si obě posuzované varianty v současné době prakticky rovny.

Z hlediska ostatních znečišťujících látek je patrné, že výroba elektrické energie je vlivem převažující uhelné energetiky zatížena poměrně vysokými emisemi oxidu uhelnatého a zejména oxidu siřičitého. IAD naopak produkuje větší množství těžkých látek, polycyklických aromatických uhlovodíků a oxidu dusného. U emisí oxidů dusíku je bilance téměř vyrovnaná.

Plánovaná změna ve složení zdrojů pro výrobu elektrické energie v časovém horizontu 10 až 15 let (viz. *Kapitola 2.4*) by se v energetické náročnosti jednotlivých koncepcí prakticky neprojevila (úspora u elektromobilů jen asi 2 %), výrazně by se však tato změna projevila ve snížení emisí oxidu uhličitého (viz. *Tabulka 18*) i ostatních látek (viz. *Tabulka 15*, kde je však jejich produkce vztahena na celou IAD).

Z hlediska ekonomického, které by bylo pravděpodobně rozhodujícím faktorem při masovějším zavádění elektromobilů je zřejmé, že v současných cenových podmínkách jak vozidel, tak paliv i předpokládané roční ujeté vzdálenosti, nemohou elektromobily vozidlům se spalovacími motory konkurovat.

To znamená, že rozšíření elektromobilů v oblasti IAD by podle mého názoru bylo možné jen dvěma způsoby:

- zavedením státních finančních pobídek na nákup elektromobilů, neboli jejich zlevněním do doby, než se rozběhne a zaběhne sériová výroba vozidel a baterií, protože jinak není v podstatě důvod k jejich vysoké ceně;
- uvalením daní na vozidla se spalovacími motory nebo jejich paliva, neboli zdražením dopravy tímto typem vozidel.

Pokud by k nějakému takovému opatření došlo, jednalo by se zřejmě o určitou kombinaci obou způsobů, přičemž by ze sociálních důvodů pravděpodobně převažoval vliv prvního z nich (těžko si lze představit náhlé razantní zvýšení ceny IAD). Vzhledem k tomu, že převedením IAD na elektrickou by stát přišel o obrovské daňové příjmy (viz. odstavec 2.5.3), musel by k tomu být zřejmě donucen nějakým vnějším vlivem (např. společným postupem zemí EU, nárůstem cen a nedostatkem současných paliv apod.).

Z čistě technického hlediska není podle mého názoru dnes již problém na straně elektromobilů, ale spíše na straně vybudování veřejné nabíjecí infrastruktury a v přenosu požadovaného množství elektrické energie pro nabíjení vozidel v sítích nízkého napětí (viz. odstavec 2.2.1). Po vyřešení těchto problémů by elektromobily mohly převzít významnou část IAD. Dojezd vozidel, což byl spolu s hmotností baterií jeden z největších problémů, je v současné době minimálně kolem 100 km (většinou více), tedy naprosto dostatečný pro nadpoloviční většinu běžně uskutečňovaných jízd v našich podmínkách.

Parametry akumulátorových baterií se zásluhou rozmachu mobilních elektronických zařízení (přenosné počítače, mobilní telefony...) stále zlepšují, výrobci vozidel dnes při uvedeném dojezdu kolem 150 km prakticky srovnávají hmotnost elektromobilů s hmotností vozidla s naftovým motorem. Baterie na bázi lithia, které jsou zde dnes téměř výhradně používány, mají energetickou hustotu kolem 150 Wh/kg, což znamená, že při spotřebě 17 kWh/100 km stačí vozidlu o hmotnosti jedné tuny na ujetí vzdálenosti 100 km akumulátory o hmotnosti přibližně 120 kg. Problematická však zůstává doba potřebná k nabíjení baterií, která zatím omezuje použití elektromobilů jen na vzdálenost ujetou na jedno nabití.

Pokud bych měl na závěr vyjádřit svůj názor na celou problematiku a práci nějak uzavřít, uvedl bych toto.

Lidstvo má a ještě nějaký čas bude mít k dispozici velmi levný a vydatný energetický zdroj, totiž ropu, za kterou ovšem dnes neexistuje náhrada. Pokud se omezíme jen na oblast dopravy, zjistíme, že obrovské množství energie, která se zde celosvětově spotřebovává, je na ropě závislé z 98 %, samotná silniční doprava se podílí na spotřebě ropy více než 60 %, přičemž její podíl stále narůstá [12].

Lze těžko předvídat situaci, ale myslím, že v časovém horizontu zhruba deseti let se začnou projevovat problémy související se zhoršenou dostupností ropy. Podle mého názoru to budou tyto dva nejvýraznější:

- absolutní závislost průmyslově rozvinutých zemí na ropě a tudíž i na zemích či oblastech, kde se její zásoby nacházejí;
- razantní zásah do přepravních návyků obyvatel průmyslově vyspělých zemí.

Řešení těchto problémů předpokládá uskutečnění mnoha opatření včetně zavedení přísnějších podmínek pro využívání energetických zdrojů. Bezpodmínečně nutný krok by měl být nárůst efektivity dopravy. U států závislých na ropě bych také očekával snahu o zajištění energie potřebné pro pohon vozidel pokud možno z vlastních zdrojů.

Efektivnost dopravy lze zvýšit opatřeními technologickými (omezení zbytečných cest, použití vhodného dopravního prostředku apod.) a opatřeními technickými, kde bych vyzdvihl především hmotnost vozidla (dále např. dokonalejší využití paliv atp.). Obě porovnávané koncepce vozidel mají v tomto směru určité rezervy, vývoj spalovacích motorů se však pravděpodobně blíží svým limitům, dle [25] jsou tyto motory asi na 95 % svých možností. Za velkou nevýhodu pohonů se spalovacím motorem bych také považoval nemožnost využití energie vzniklé při zpomalování vozidla bez vložení dalších technických zařízení.

Paradoxním přínosem elektromobilů při dnešním stále ještě omezeném dojezdu je vysoká motivace uživatelů snižovat při jízdě spotřebu energie. Myslím, že tento jev celkem dobře předznamenává budoucí vývoj.

Nástup elektromobilů bude zřejmě z mnoha důvodů probíhat v delším časovém horizontu, který bude kopírovat období, ve kterém se začne projevovat nedostatek levné ropy a elektromobily tak budou moci postupně najít uplatnění v oblastech IAD, kde plně vyniknou jejich přednosti, tzn. příměstská a městská doprava v rámci možné dojezdové vzdálenosti na jedno nabití baterií.

Z výše uvedeného dle mého názoru vyplývá, že elektromobily, ačkoliv v současné době v našich podmínkách výraznějším způsobem nepřekonávají, kromě omezení hluku, vozidla se spalovacími motory prakticky v žádném zkoumaném parametru, mají ohledně budoucnosti, spolu se zdroji pro výrobu elektrické energie, potenciál dostatečně velký na to, aby se s nimi začalo vážně počítat jako s nástupci vozidel se spalovacími motory.

Použité informační zdroje

Tištěné

- [1] CEMPÍREK, V., PIVOŇKA, K., ŠIROKÝ, J. Základy technologie a řízení dopravy. 3. vyd. Pardubice, 2002. Skripta Dopravní fakulty Jana Pernera Univerzity Pardubice, 120 s. ISBN 55-759-02.
- [2] CÍLEK, V., KAŠÍK, M. Nejistý plamen, průvodce ropným světem. 2. vyd. Dokořán, Praha, 239 s. ISBN 978-80-7363-218-2.
- [3] DRÁBEK, J. Dynamika a energetika elektrické trakce. ALFA, Bratislava 1987, xxxx s. ISBN 063-773-87
- [4] KAMEŠ, J. Alternativní pohon automobilů. BEN – technická literatura. 1. vyd. Praha, 2004. 132 s. ISBN 80-7300-127-6.
- [5] GREGORA, S. Elektronické a mechatronické systémy v konstrukci silničních vozidel. 1. vyd. Pardubice, 2008. Skripta Dopravní fakulty Jana Pernera Univerzity Pardubice. 225 s. ISBN 978-80-7395-082-8.

Elektronické

- [6] Centrum dopravního výzkumu. Studie o vývoji dopravy z hlediska životního prostředí v České republice za rok 2004 [online]. [cit. 2010-02-02] Dostupné z: http://www.cdv.cz/text/szp/studie_mzp/studie_mzp_2005.pdf.
- [7] MACHALÍKOVÁ, J. Učební texty v elektronické podobě pro předmět *Životní prostředí a doprava* Dopravní fakulty Jana Pernera Univerzity Pardubice, školní rok 2004/2005.
- [8] Brůhová-Foltýnová, Hana. Ukazatele trendů v dopravě [online]. [cit. 2010-3-2]. Dostupné z: http://www.enwiki.cz/index.php?title=Ukazatele_trend%C5%AF_v_doprav%C4%9B&oldid=3491.
- [9] Hluk se stal nenápadným zabijákem [online]. [cit. 2010-04-10]. Dostupné z: <http://iforum.cuni.cz/IFORUM-4462.html>.
- [10] Ročenka dopravy 2008 [online]. [cit. 2010-03-05] Dostupné z: http://www.sydos.cz/cs/rocenka-2008/rocenka/htm_cz/index.html.
- [11] DE LA FUENTE LAYOS, L. A. Mobilita cestujících na krátké vzdálenosti v Evropě [online]. [cit. 2005-11-22]. Překlad: Petr Zavadil. Dostupné z: <http://www.datis.cd rail.cz/edice/edice.asp>, Edice: Statistika v dopravě 2005.

- [12] BRŮHOVÁ-FOLTÝNOVÁ, H. Spotřeba energií v dopravě [online]. [cit. 2010-03-06]. Dostupné z: http://www.enviwiki.cz/index.php?title=Spot%C5%99eba_energi%C3%AD_v_doprav%C4%9B&oldid=6073.
- [13] Motorisation rate – [tsdpc340] (Stupeň motorizace v evropských zemích) [online]. [cit. 2010-04-09]. Dostupné z: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=tsdpc340&plugin=1>.
- [14] Wikipedie. ERoEI [online]. [cit. 2010-03-20]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/ERoEI>.
- [15] STORM VAN LEEUEN, J. W., SMITH, P. Nuclear power – the energy balance. Part G: Energy analysis – results [online]. [cit. 2010-04-09]. Dostupné z: <http://www.stormsmith.nl/>.
- [16] Rataj, J. Jaderná energetika – minulost či budoucnost? [online]. [cit. 2010-04-11]. Dostupné z: <http://www.svobodomyslni.cz/sbornik3.php>.
- [17] Účinnost [online]. [cit. 2010-04-02]. Dostupné z: http://www.simopt.cz/energyweb/web/index.php?display_page=2&subitem=2&slovník_page=ucinost.html.
- [18] Výroba vs. spotřeba: Čím zatěhuje automobil více? [online]. [cit. 2010-03-05]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/clanek/ekoauto/74660/vyroba-vs-spotreba-cim-zatezuje-automobil-vice>.
- [19] LUPÍŠEK, A. Spočítejte si, kolik emisí CO₂ vyprodukuje Vaše auto [online]. [cit. 2010-04-14]. Dostupné z: <http://www.ekoblog.cz/?q=emise>.
- [19] CERMAN, J. EURO 5: Zdraží emisní limity automobily? [online]. [cit. 2010-03-05]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/nazeleno/plus/emise-co2/euro-5-zdrazi-emisni-limity-automobily.aspx>.
- [20] Český hydrometeorologický ústav – Úsek ochrany čistoty ovzduší. Znečištění ovzduší na území ČR v roce 2008 [online]. [cit. 2010-2-22]. Dostupné z: <http://www.chmi.cz/uoco/isko/groc/gr08cz/kap2421.html>.
- [21] Výhřevnost paliv [online]. [cit. 2010-04-27]. Dostupné z: <http://energie.tzb-info.cz/t.py?t=16&i=11&h=38&obor=2>.
- [22] Statistická ročenka České republiky 2009 [online]. [cit. 2010-02-02] Dostupné z: <http://www.czso.cz/csu/2009edicniplan.nsf/p/0001-09>.

Seznam tabulek

Tabulka 1 Počet osobních automobilů na 1000 obyvatel v ČR.....	9
Tabulka 2 Počet osobních automobilů na 1000 obyvatel ve státech Evropské unie	10
Tabulka 3 Složení ropy	13
Tabulka 4 Srovnání přepravních výkonů v osobní dopravě	15
Tabulka 5 Parametry paliv	18
Tabulka 6 Celková účinnosti vozidel	18
Tabulka 7 Energetická bilance vozidel s benzínovým spalovacím motorem.....	18
Tabulka 8 Porovnání energetická bilance vozidel se spalovacím motorem a elektromobilů	19
Tabulka 9 Ztráty v distribuci elektřiny (elektrárna – zásuvka)	19
Tabulka 10 Výroba elektrické energie a její odhad v ČR 2004 – 2010	20
Tabulka 11 Výroba elektřiny v ČR 2008	21
Tabulka 12 Účinnost uhelné elektrárny	22
Tabulka 13 Výťah z palivového mixu ČEZ 2008	28
Tabulka 14 Celková roční produkce CO ₂ vozidel	30
Tabulka 15 Emisní situace různých polutantů vztažené na celkovou energii potřebnou pro provoz vozidel	31
Tabulka 16 Vývoj emisních norem	31
Tabulka 17 Srovnání potencionálního energetického mixu ČR 2020 s rokem 2008	33
Tabulka 18 Porovnání emisí CO ₂ vozidel v letech 2008 a 2020	35
Tabulka 19 Parametry elektrických a benzínových vozidlech.....	38
Tabulka 20 Porovnání roční energetické náročnosti a produkce CO ₂ v současných podmínkách ČR.....	41

Seznam grafů

Graf 1 Vývoj emisí hlavních znečišťujících látek z dopravy v letech 1990 – 2007	12
Graf 2 Rozdělení uskutečněných cest v některých evropských zemích podle hlavního druhu dopravy	15
Graf 3 Struktura vlastnictví osobních vozidel v ČR v roce 2009 podle typu paliva a objemu motoru	16
Graf 4 Produkce CO ₂ v životním cyklu vozidel.....	27