

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera

Complex Trans

Návrh pohonné hybridní jednotky a umístění zdrojů energie kupémobilu

Bc. Marek GREŠÁK

Diplomová práce

2009

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Marek GREŠÁK**

Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**

Studijní obor: **Dopravní prostředky-Silniční vozidla**

Název tématu: **Complex Trans - Návrh pohonné hybridní jednotky  
a umístění zdrojů energie kupémobilu**

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

Osnova: 1. Úvod 2. Základní informace o systému Complex Trans - současný stav řešení problematiky 3. Možnosti uspořádání pohonu 4. Zhodnocení možných variant 5. Ideový návrh 6. Návrh a doporučení pro další postup řešení 7. Závěr

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

<http://www.fd.cvut.cz/projects/k620x1c/index.html>

<http://www.hybrid.cz/>

<http://vodik.czweb.org/>

<http://klub.elektromobily.org/>

Vedoucí diplomové práce:

**doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.**

Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání diplomové práce: **20. února 2009**

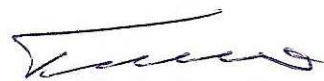
Termín odevzdání diplomové práce: **25. května 2009**



prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.

děkan

L.S.



doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.

vedoucí katedry

dne

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.

V Pardubicích dne 25. 5. 2009

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Miroslavu Tesařovi za řadu cenných rad a konzultací, které mi pomohly úspěšně dokončit diplomovou práci.

Dále bych chtěl poděkovat Ing. Jiřímu Hofmanovi za řadu odborných rad a materiálů, které mi ke zpracování diplomové práce poskytl.

## **Anotace**

V prvních dvou kapitolách práce jsou objasněny důvody ke vzniku projektu ComplexTrans, současný stav řešení problematiky a podrobněji je rozebrán kupémobil, dopravní prostředek vyvíjený v rámci projektu. Dále jsou v práci popsány možnosti konstrukčního provedení hybridní pohonné jednotky kupémobilu. Dále bylo provedeno zhodnocení možných variant, zpracován ideový návrh a doporučení pro další řešení problematiky hybridního pohonu kupémobilu.

## **Klíčová slova**

Complextrans; kupémobil; hybridní pohon; lineární spalovací motor-generátor.

## **Title**

Complex Trans - Draft of hybrid propulsion unit and the location of kupémobil energy resources

## **Annotation**

In the first two chapters of the work are clarified reasons for the emergence of ComplexTrans and the current state of solutions. Further is described kupémobil, which is vehicle developed in the project. Furthermore, the work described the possibilities of drafts of hybrid propulsion unit. Further was made assessment of possible options and the ideological draft was compiled. In conclusion were written up recommendations for the next elaboration.

## **Keywords**

Complextrans; kupémobil; hybrid propulsion; linear combustion engine.

# OBSAH

<b>ÚVOD .....</b>	<b>8</b>
<b>1. ZÁKLADNÍ INFORMACE O SYSTÉMU COMPLEXTRANS – SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÍ PROBLEMATIKY .....</b>	<b>10</b>
1.1 STRUČNÝ POPIS SYSTÉMU COMPLEX TRANS .....	10
1.2 KUPÉMOBIL .....	14
1.2.1 Užité hodnota kupémobilu .....	14
1.2.2 Základní charakteristika .....	15
1.2.3 Základní parametry .....	16
1.2.4 Hlavní rozměry a jejich odůvodnění .....	16
1.2.5 Komponenty vozidla .....	18
<b>2. MOŽNOSTI USPOŘÁDÁNÍ POHONU .....</b>	<b>26</b>
2.1 SERIOVÝ HYBRIDNÍ POHON .....	26
2.2 PARALELNÍ HYBRIDNÍ POHON .....	27
2.3 SMÍŠENÝ HYBRIDNÍ POHON.....	28
2.4 ZDROJE ELEKTRICKÉ ENERGIE.....	29
2.4.1 Spalovací motor + generátor .....	29
2.4.2 Lineární spalovací motor-generátor (LCE) .....	30
2.4.3 Palivové články .....	32
2.5 ZÁSOBNÍKY ELEKTRICKÉ ENERGIE.....	38
2.5.1 Akumulátorové baterie .....	38
2.5.2 Superkondenzátory .....	43
2.6 TRAKČNÍ ELEKTROMOTORY .....	44
2.6.1 Stejnoseměrné elektromotory.....	44
2.6.2 Střídavé elektromotory .....	45
2.6.3 Magnetický elektromotor .....	46
<b>3. ZHODNOCENÍ MOŽNÝCH VARIANT .....</b>	<b>47</b>
3.1 VOLBA OPTIMÁLNÍ CELKOVÉ KONCEPCE POHONU .....	47
3.1.1 Dílčí závěr.....	48
3.2 VOLBA OPTIMÁLNÍHO ZDROJE ENERGIE .....	48
3.2.1 Dílčí závěr.....	50
3.3 VOLBA OPTIMÁLNÍHO ZÁSOBNÍKU ENERGIE.....	50
3.3.1 Dílčí závěr.....	52

3.4	VOLBA OPTIMÁLNÍCH TRAKČNÍCH ELEKTROMOTORŮ .....	52
3.4.1	Dílčí závěr.....	53
<b>4.</b>	<b>IDEOVÝ NÁVRH .....</b>	<b>55</b>
4.1	POPIS ZÁKLADNÍCH ČÁSTÍ POHONU .....	56
<b>5.</b>	<b>EKONOMICKÝ ROZBOR.....</b>	<b>58</b>
<b>6.</b>	<b>NÁVRH A DOPORUČENÍ PRO DALŠÍ POSTUP ŘEŠENÍ.....</b>	<b>61</b>
<b>7.</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>62</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>63</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>64</b>



## ÚVOD

V současné době existují dva hlavní systémy pozemní dopravy osob a zboží. Jedná se o dopravu silniční a dopravu železniční. Oba dva způsoby dopravy mají své klady a své zápory, přičemž hlavními výhodami silniční dopravy je časová nezávislost a přeprava ode dveří ke dveřím, jejími nevýhodami jsou pak např. menší komfort a bezpečnost, snížená dopravní propustnost či zácpy mezi městy i ve městech, velmi často obtížné parkování, větší závislost na počasí, závislost na ropě a exhalace skleníkových plynů. Výhodami železniční dopravy jsou naopak vyšší přepravní komfort, vyšší bezpečnost přepravy, menší závislost na počasí, možnost elektrifikace a automatizace, nezávislost na ropě a možnost redukce produkce skleníkových plynů, hlavními nevýhodami železniční dopravy jsou pak nemožnost dopravy ode dveří ke dveřím a její obtížnější časová dostupnost.

Pro své přednosti v poslední době získala značnou převahu doprava silniční, nicméně problémy z toho plynoucí (dopravní zácpy, nedostatek parkovacích ploch, exhalace skleníkových plynů, vysoká nehodovost aj.) neopravňují v žádném případě k uspokojení se současným stavem silniční dopravy.

Železniční doprava se sice prosazuje v některých oblastech, jako jsou městská a předměstská doprava nebo doprava rychlovlaky či přeprava surovin, její podíl však zůstává nadále mnohem nižší než je její potenciál. Protože železniční doprava není schopna sama o sobě dopravit osoby a zboží ode dveří ke dveřím v libovolném čase, nemůže nahradit individuální automobilovou dopravu.

Na základě poznání, že řešením je kombinovaná doprava silnice-železnice, pokud dokáže spojit výhody a odstranit nevýhody obou dopravních systémů, vzniknul pod názvem ComplexTrans návrh pozemního kombinovaného dopravního systému pro individuální i hromadnou přepravu osob a zboží v meziměstské a městské dopravě.

System je založený na vzájemném přizpůsobení silničních a železničních dopravních prostředků, které má za cíl odstranit překážky bránící širokému rozšíření kombinované dopravy. Snahou je ukázat, jaké mnohé nové možnosti může přinést koordinovaný vývoj železničních a silničních dopravních prostředků, dopravních sítí a dopravního i občanského stavebnictví, a to výlučně při použití existujících technologií.

Hlavními principy systému jsou změna formy i funkce automobilů a zvýšení jejich užitné hodnoty, vznik husté sítě smíšených osobně-nákladních železničních vlaků a dále princip částečného zhromadnění individuální dopravy.

System ComplexTrans je provozován paralelně k systému běžného silničního provozu a mezi oběma systémy lze kdykoliv volit.

# 1. ZÁKLADNÍ INFORMACE O SYSTÉMU COMPLEXTRANS – SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÍ PROBLEMATIKY [1]

## 1.1 STRUČNÝ POPIS SYSTÉMU COMPLEX TRANS

Pro individuální přepravu osob v systému ComplexTrans slouží přizpůsobené osobní automobily, tzv. kupémobily (obr. 1), které nahradí v převážné míře běžné osobní automobily. Kupémobily jsou určeny pro dopravu a přebývání až pěti osob.



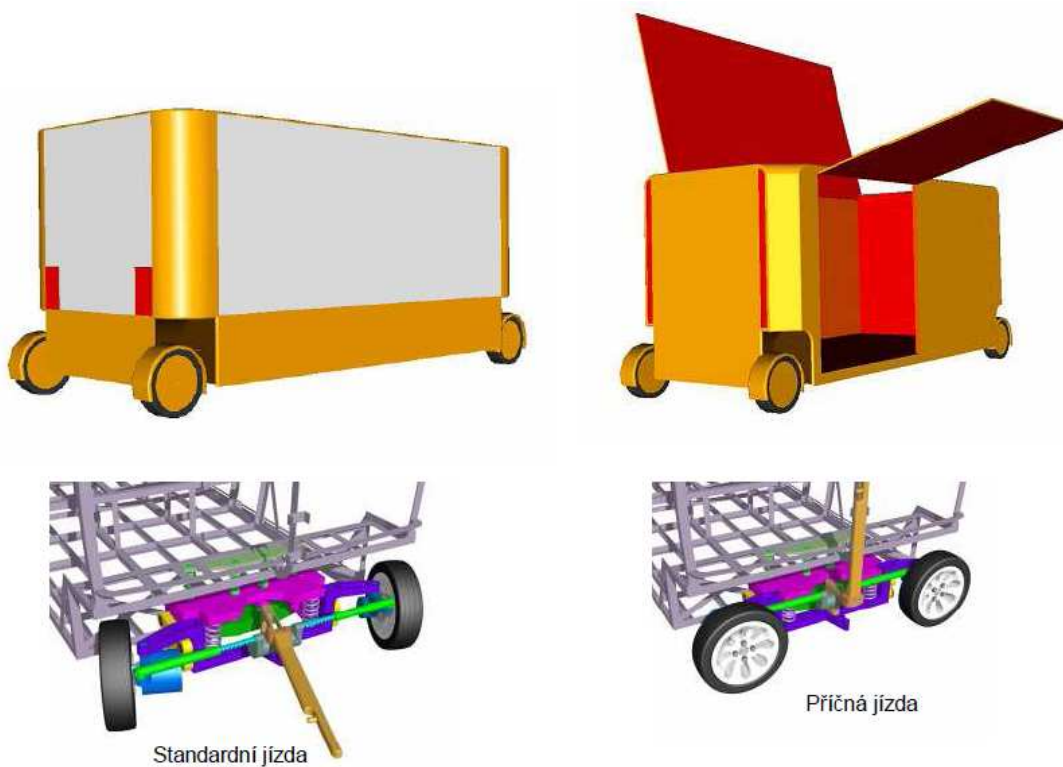
**Obr. 1 Kupémobil [2]**

Kromě kupémobilů slouží pro individuální přepravu osob také další automobily schopné přepravy ve vlacích systému Complex Trans. Malé automobily (obr. 2) pro dvě až čtyři osoby mají délku do 2200 mm, příčný průřez menší než kupémobily a jiné uspořádání dveří. Velké automobily o rozměrech do 4,5 x 2,2 x 2 m se pak liší od dnešních automobilů pojezdem, který umožňuje též příčný pohyb při nakládce a vykládce do a z vlaků systému ComplexTrans (ale také např. při parkování).



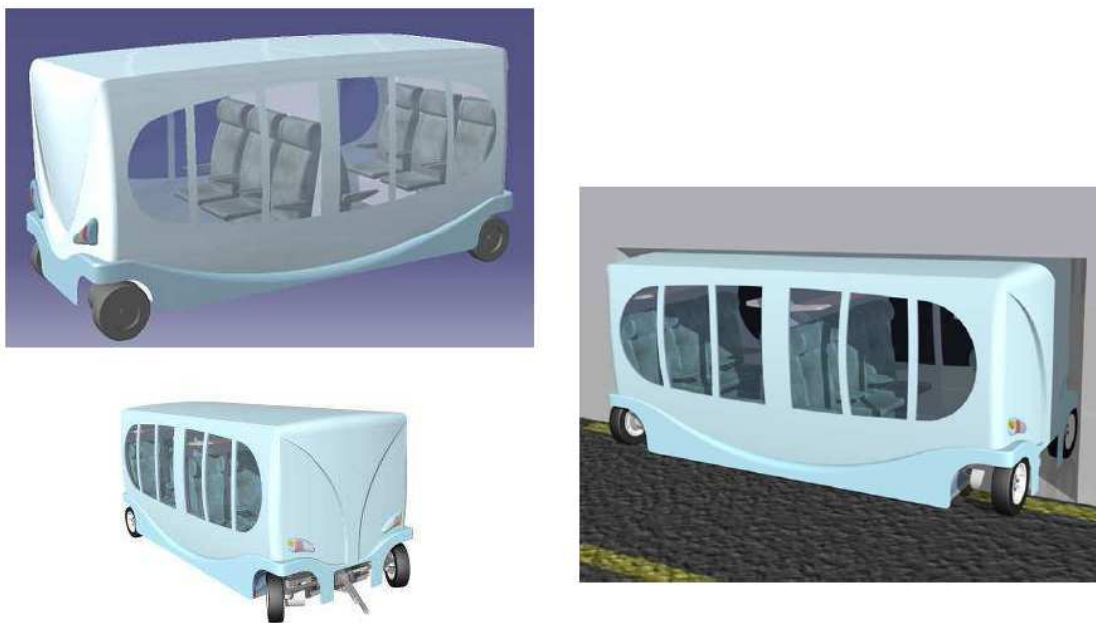
**Obr. 2 Minimobil [2]**

Pro přepravu méně rozměrných zásilek v systému ComplexTrans slouží nákladní přepravní moduly (obr. 3) o rozměrech cca 4,5 x 2,2 x 2 m. Přepravní moduly jsou vybaveny vlastním pojezdem umožňujícím samostatnou jízdu na malé vzdálenosti, samostatný příčný pojezd a jízdu v soupravě sestavené z tahače a až tří nákladních přepravních modulů.



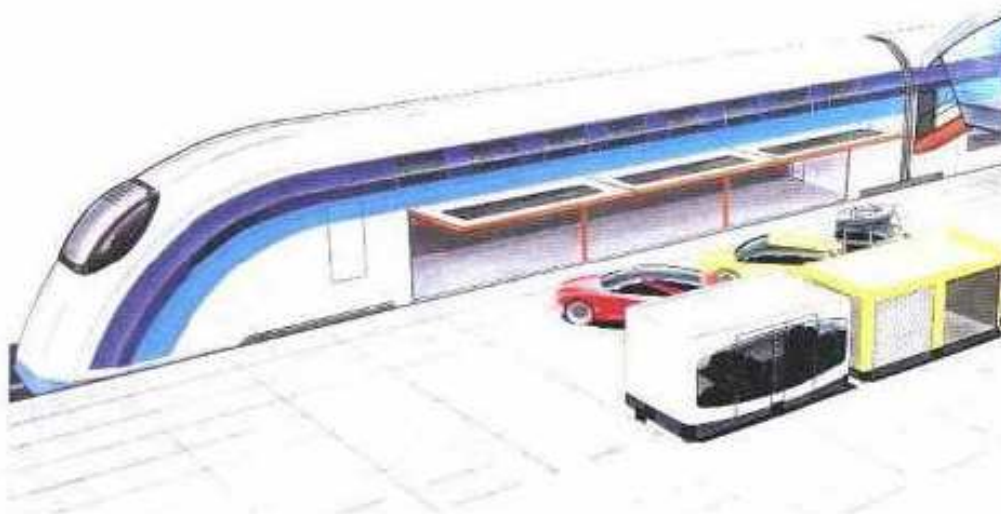
**Obr. 3 Nákladní přepravní modul [2]**

Pro doplňkovou přepravu osob slouží v systému ComplexTrans osobní přepravní moduly (obr. 4) se shodnými rozměry, pojezdem a možnostmi jízdy v soupravě jako nákladní přepravní moduly, přičemž interiér je tvořen dvěma kupé určenými pro přepravu sedících cestujících.

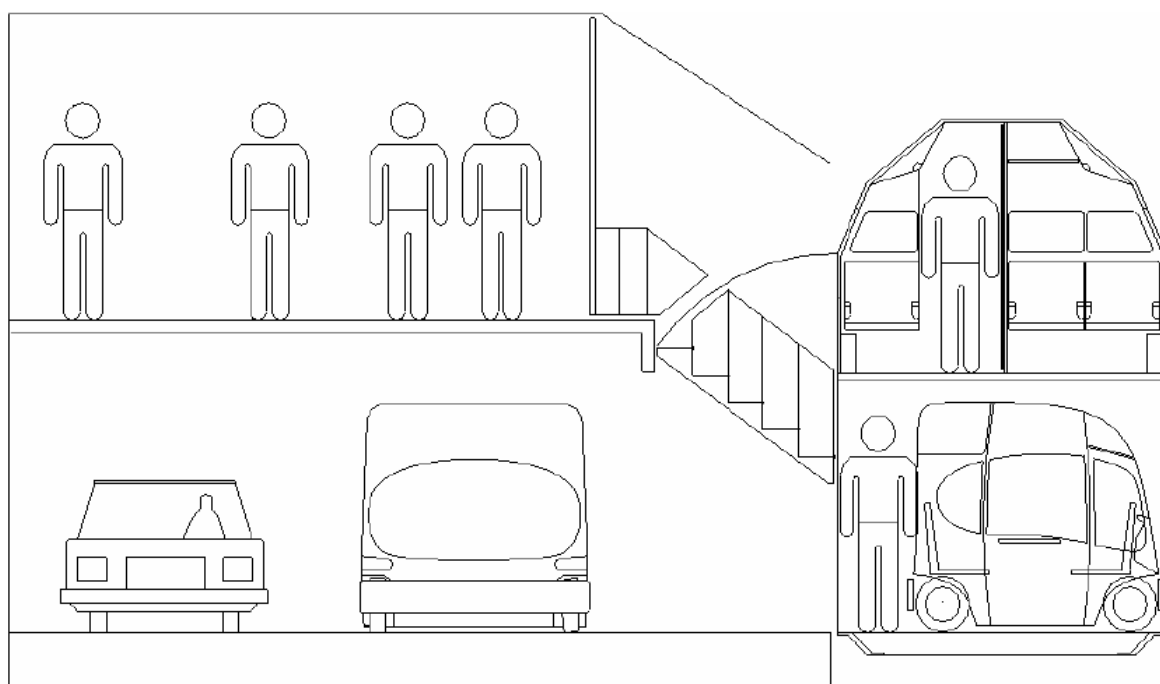


**Obr. 4 Osobní přepravní modul [2]**

Pro meziměstskou přepravu kupémobilů a malých a velkých automobilů včetně jejich osádek, nákladních přepravních modulů, osobních přepravních modulů i běžných cestujících slouží hustá síť vlaků systému ComplexTrans sestavených z dvoupatrových železničních vozů (obr. 5 a obr. 6), provozovaných v krátkých intervalech (cca 5 až 20 min.) maximální rychlostí nejméně 160 km/h mezi terminály situovanými u velkých a větších měst vzdálenými cca 50 až 100 km. Horní patro železničních vozů slouží pro přepravu běžných cestujících nebo nákladu, spodní patro je určeno pro přepravu nákladu, přičemž nákladem mohou být kupémobily (se zataženými nápravami) přepravované příčně díky své malé délce, malé a velké automobily, nákladní přepravní moduly nebo osobní přepravní moduly. Pro přepravu rozměrnějších nákladů je k vlakům systému ComplexTrans připojováno několik nákladních vagónů schopných jízdy maximální rychlostí.



**Obr. 5 Dvoupatrový železniční vůz pro dopravu osob a zboží [2]**



**Obr. 6 Dvoupatrové nástupiště a příčný řez dvoupatrovým vozem [2]**

O přepravní nabídce systému ComplexTrans jsou řidiči průběžně informováni a na jejím základě se mohou kdykoliv rozhodnout pro využití systému ComplexTrans. K tomu slouží interaktivní informační a rezervační systém (obr. 7).



**Obr. 7 Informační a rezervační systém [2]**

Na přepravu nákladních osobních přepravních modulů je navázán systém jejich svozu a rozvozu k zákazníkům v soupravách vedených tahačem. Soupravy sestavené z tahače a osobních přepravních modulů jsou pak používány běžnými cestujícími zejména pro propojení vlaků ComplexTrans s centry měst.

Zavedení systému ComplexTrans v mezinárodním měřítku přináší možnost podstatného zkvalitnění dopravy i života.

## 1.2 KUPÉMObIL

### 1.2.1 Užiténá hodnota kupémobilu

Kupémobil je sám o sobě vhodný pro tyto činnosti:

- individuální pohodlná přeprava pěti osob a jejich zavazadel;
- přeprava rozměrného nákladu;
- prostorově úsporné parkování (významné zvětšení parkovacích kapacit);
- mimodopravní přebývání.

Kupémobil je dále v návaznosti na další systémy zvláště vhodný pro tyto činnosti:

- dálková kombinovaná doprava silnice/železnice;
- dálková úsporná silniční doprava v soupravách;
- městská úsporná silniční doprava v soupravách;
- městská hromadná doprava;
- nestandardní parkování;
- využití v obytných a administrativních budovách;
- záložní zdroj energie.

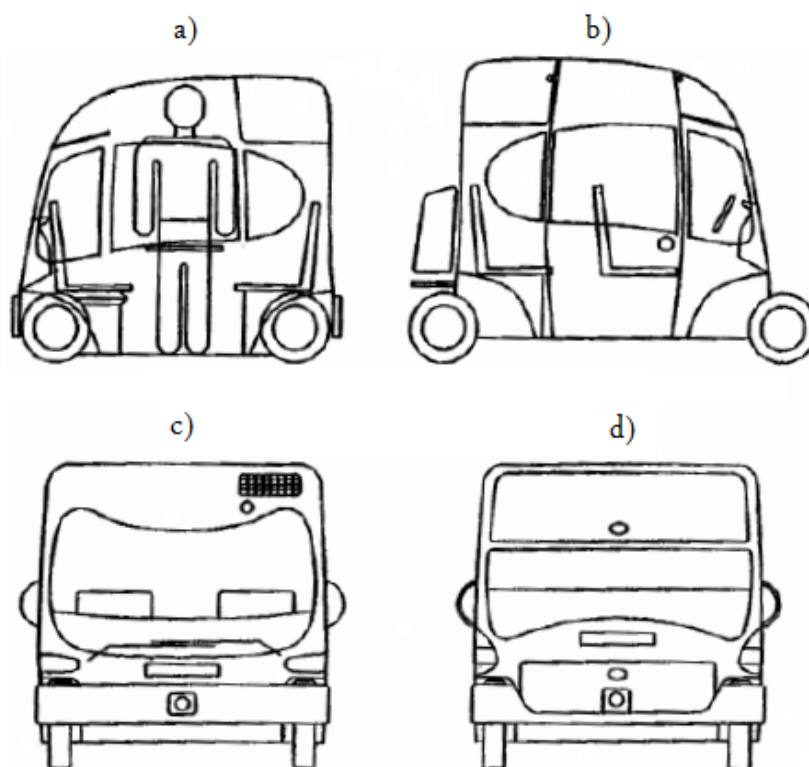
### **1.2.2 Základní charakteristika**

Kupémobil je osobní automobil nového typu s velmi vysokou užitnou hodnotou. Je to čtyřkolové uzavřené vozidlo pro pohodlnou přepravu až pěti osob a jejich zavazadel. Přední náprava je řídicí, výsuvná vpřed (o cca 500 mm) a zadní náprava je tuhá, hnací, výsuvná vzad (o cca 500 mm). Hybridní pohonná jednotka je umístěna pod zadními sedadly a je součástí výsuvné tuhé zadní nápravy. V jednoprostorové karosérii je umístěno pět sedadel se sklopným stolem a zavazadlový prostor. Vepředu jsou umístěna dvě pohodlná otočná sedadla s běžnou výškou oddělená průchozí uličkou. Vzadu je umístěna trojice pohodlných posuvných sedadel běžné výšky. Na levé bočnici je umístěn sklopný stolek. Nad zadními sedadly je umístěn hlavní zavazadlový prostor. Karosérie je opatřena dvěma nebo třemi dveřmi umístěnými na pravé bočnici a zadní a eventuelně přední stěně. Uprostřed pravé bočnice jsou umístěny hlavní vstupní jednokřídlé (nebo dvoukřídlé) posuvné dveře, kterými je pohodlný přístup na všech pět sedadel. Na zádi jsou umístěny dvoukřídlé dveře, které slouží pro pohodlný přístup do hlavního i variabilního vnitřního zavazadlového prostoru. Eventuelní třetí dveře jsou umístěny v čelní stěně a slouží také pro pohodlný přístup ke všem pěti sedadlům.



### 1.2.3 Základní parametry

Maximální rychlost	130 až 150 km/h
Dojezd na benzín (naftu)	400 až 500 km
Dojezd na baterie	cca 50 km
Počet přepravovaných osob	5
Objem zavazadlového prostoru	350 – 2500 l + vnější přepravní prostor



**Obr. 8 Kupémobil – pohledy [1]**

(a – v parkovací poloze, b – v provozní poloze, c – zepředu, d- zezadu)

### 1.2.4 Hlavní rozměry a jejich odůvodnění

#### a) Délka vozidla se zasunutými nápravami

Délka vozidla 2200 mm (se zasunutými nápravami) je navržena s ohledem na:

- pohodlné umístění dvou řad sedadel za sebou nebo proti sobě;
- nakládku vozidel do autovlaků kolmo ke směru jízdy;
- parkování kolmo k chodníku (všude);
- parkování v úsporných parkovacích zařízeních;
- umístění kupémobilů na balkónech bytů a administrativních budov.

## **b) Délka vozidla s vysunutými nápravami**

Délka vozidla 3200 mm (s vysunutými nápravami) je navržena s ohledem na:

- dosažení standardní velikosti rozvoru;
- získání dostatečných deformačních zón.

## **c) Šířka vozidla**

Šířka vozidla 1950 – 2000 mm (měřeno přes bočnice karosérie) je navržena s ohledem na:

- dostatečnou šířku uličky mezi předními sedadly pro umožnění přístupu k nim odzadu;
- umístění tří pohodlných sedadel vzadu;
- získání dostatečně rozměrného a pohodlného lůžka sklopením tří zadních sedadel;
- získání dostatečného prostoru pod zadními sedadly pro pohonnou jednotku;
- umístění 6 kupémobilů v železničním voze ComplexTrans.

## **d) Výška vozidla v parkovací poloze**

Výška vozidla 1940 mm (v parkovací poloze) je navržena takto:

- 70 mm – světlá výška pod vozidlem
  - + 40 mm – výška podlahového panelu
  - + 1800 mm – výška pro dostatečně pohodlný vzpřímený pohyb ve vozidle
  - + 30 mm – výška střešního panelu
- 1940 mm

## **e) Výška vozidla v provozní poloze**

Výška vozidla 2040 mm (v provozní poloze) je navržena takto:

- 1940 mm – výška vozidla v parkovací poloze
  - + 100 mm – přídavný zdvih aktivního vypružení
- 2040 mm

### 1.2.5 Komponenty vozidla

#### a) Kola

Jako výchozí jsou použity pneumatiky 145/70-12'' s vnějším průměrem do 510 mm. Tento průměr kol je zvolen s ohledem na výšku sedadel umístěných nad zadními koly.

#### b) Přední náprava

Nápravnice s průřezem ve tvaru L (svislá část vpředu ve směru jízdy) je zavěšena dvěma dvojicemi šikmých kyvných závěsů (paralelogram) na karosérii vozidla. Tyto závěsy slouží k vysunutí přední nápravy vůči karosérii vpřed o cca 500 mm. Samotné vysunutí nápravy zajišťuje dvojice podélných aktuátorů. Součástí nápravnice jsou též blatníky kol. Nápravnice nese na svých koncích dvě aktivní vypružovací jednotky McPherson. Pokud je vozidlo opatřeno čelními dveřmi, je svislé čelo nápravnice ve střední části sníženo. V zasunutém stavu přesahuje nápravnice asi o 30 mm karosérii. Spodní část nápravnice zasahuje pod karosérii. Podlaha karosérie je v této části zvýšena o potřebnou hodnotu. Nápravnice dále nese řízení s posilovačem a eventuelně příčný zkrutný stabilizátor. Přední čelo nápravnice slouží zároveň jako nárazník.

Závěsy jsou umístěny mezi karosérií a nápravnicí. Mají délku asi 400 – 500 mm a jsou umístěny šikmo. Na svých horních koncích jsou otočně upevněny ke karosérii a na dolních koncích k nápravnici. Působením aktuátorů se přestaví závěsy z jedné krajní šikmé polohy do druhé krajní šikmé polohy. Tím se nápravnice vysune o cca 500 mm.

Aktuátory jsou umístěny podélně mezi karosérií a nápravnicí a jejich výsuv je vzájemně synchronizován. Aktuátor je tvořen trubkou upevněnou na jednom konci kloubově ke karosérii. Na druhém nepatrně rozšířeném konci trubky je vsazen neotočně stator elektromotoru. Rotorem elektromotoru probíhá samosvorný pohybový šroub upevněný kloubově k nápravnici. Stator elektromotoru je axiálně podepřen předepjatou pružinou, která umožňuje posuv elektromotoru o cca 50 mm. Tento posuv proti síle pružiny se používá pro utlumení nárazů malými rychlostmi. Při nárazu vozidla vyšší rychlostí se stator elektromotoru vtlačí do zúžené trubky a tlumící síla prudce vzroste. Tato tlumící síla tlumí energii nárazu na dráze cca 450 mm.

Vypružovací jednotky McPherson v sobě integrují vypružení a tlumení. Kromě toho jsou opatřeny funkcí aktivního řízení zdvihu a umožňují zvětšit zdvih až o 100 mm.

Řízení s posilovačem je spojeno s volantem prostřednictvím teleskopického kardanového hřídele. Tento hřídel umožňuje řízení při zasunuté i vysunuté přední nápravě.

Zkrutný příčný stabilizátor. Vzhledem k širokému rozchodu je možné, že stabilizátor nebude zapotřebí.

### **c) Zadní náprava**

Nápravnice s průřezem ve tvaru L (svislá část pravděpodobně vpředu ve směru jízdy) je zavěšena dvěma dvojicemi šikmých kyvných závěsů (paralelogram) na karosérii vozidla. Tyto závěsy slouží k vysunutí přední nápravy vůči karosérii vpřed o cca 500 mm. Samotné vysunutí nápravy zajišťuje dvojice podélných aktuátorů. Součástí nápravnice jsou též blatníky kol. Nápravnice nese na svých koncích dvě kyvná ramena s vypružovacími jednotkami. V zasunutém stavu přesahuje nápravnice asi o 30 mm karosérii. Ve střední části nese nápravnice pohonnou jednotku a nádrž paliva. V zadní části nese nápravnice demontovatelný nárazník.

Závěsy a aktuátory jsou shodné s provedením na přední nápravě.

Obě hnací kola jsou otočně uložena v kyvných ramenech. Kyvná ramena jsou na jedné straně otočně uložena na nápravnici, na druhé straně jsou podepřena komplexními vypružovacími jednotkami s aktivním stavěním zdvihu (o 100 mm). Kola jsou poháněna buď kloubovými hřídeli od pohonné jednotky nebo vestavěnými elektromotory. U kol je též integrována brzda.

### **d) Pohonná jednotka a zásobníky energie**

Pohonná jednotka je hybridního typu (spalovací motor + elektromotor) a je upevněna v prostřední části zadní nápravy.

Palivová nádrž je umístěna ve střední části zadní nápravy a má dostatečný objem pro dojezd na vzdálenost 400 až 500 km. Plnicí hrdlo nádrže je vyvedeno na zádi vozidla. Nádrž je umístěna v dostatečné vzdálenosti od obrysu vozidla.

Trakční baterie je umístěna pod sedadlem řidiče. Její energetický obsah postačuje pro dojezd do vzdálenosti cca 50 km.

## **e) Karoserie**

Karosérie je jednoprostorového typu. Je tvořena prostorovým svařovaným kovovým skeletem s plastovým obložení. Podlahový panel je tvořen vlnitým plechem nebo sandwichem o tloušťce max. 40 mm. V zadní části na podlahový panel navazuje plechem tvořená partie nad zadní nápravou. Tato partie je vzadu ukončena vzhůru vztyčeným nosným lemem. Vpředu navazuje na podlahový panel čelní plechová partie s nadkolími. Do podlahového panelu jsou na každé straně (symetricky vpravo a vlevo) ukotveny vždy dva vertikální sloupky tvořící na pravé straně olemování bočního dveřního otvoru. V horní části těchto sloupků jsou umístěny úchopové body pro svislou přepravu pomocí manipulátorů. Střešní, boční a čelní plastové panely jsou ke skeletu přilepeny. Celá karosérie je důkladně tepelně izolována, protože vozidlo slouží i k nedopravním účelům. Ve spodní části při levé bočnici je umístěn kanál pro vedení kabeláže a teplovodních a brzdových hadic. Do karosérie jsou integrovány dveře a okna.

## **f) Dveře**

Vozidlo disponuje trojicí (eventuelně dvojicí) dveří.

Hlavní nástupní dveře jsou umístěny v pravé bočnici mezi nadkolími předního a zadního kola. Tyto dveře slouží pro nástup všech osob na všechna místa ve vozidle. Minimální světlá šířka dveří je 650 mm. Výška dveří je omezena zdola podlahovým panelem a shora střešním panelem. Dveře nesmí mít žádný práh. Přednostně jsou dveře tvořeny jedním vzad vně výkyvným křídlem. V otevřeném stavu nemá žádná část dveří přesahovat přes zadní okraj vozidla. Dveře musí mít ruční ovládání s elektrickým posilovačem ovládaným madlem dveří. Nastanou-li při konstrukci jednokřídlých dveří zásadní problémy, připouští se použití dvoukřídlých dveří.

Nákladní dveře jsou umístěny na zádi vozidla nad zadní nápravou. Jsou to dvoukřídlé manuálně ovládané dveře otočné kolem svislých pantů umístěných na obou bočnicích. Každé dveřní křídlo lze odklopit nejméně o 180°. Levé křídlo se otevírá jako první.

Pomocné nástupní dveře jsou umístěny v pravé polovině čelní stěny (avšak tak, aby k nim byl přístup ode všech sedadel) a mají světlou šířku cca 500 mm. Jedná se o jednokřídlé vně výklopné manuálně ovládané dveře.

Tyto dveře slouží pro vystupování přímo na chodník (při parkování kolmo k chodníku), jsou velmi vhodné pro používání ve vlacích ComplexTrans a velmi důležité jsou pro plné využití zadního nákladního prostoru. Pro možnost realizace těchto dveří je nutno vyřešit otázku výhledu, stírání čelního okna a nekolizního otevírání.

### **g) Okna**

Všechna okna jsou opatřena žaluziemi nebo záclonkami pro zvýšení soukromí při nedopravním využití. Jinou možností je použití polarizovaných skel umožňujících snížit jejich průhlednost.

### **h) Sedadla a stolek**

V přední části vozidla jsou umístěna dvě otočně-posuvná pohodlná čalouněná sedadla (pro řidiče a spolujezdce) se sklopnými opěradly s demontovatelnými opěrkami hlavy. Výška sedáku od podlahového panelu je cca 470 mm. Protože je podlaha v přední části zvýšena, je výška sedadel oproti této zvýšené podlaze menší. Sedadla jsou oddělena uličkou o dostatečné šířce, která slouží jednak pro přístup k předním sedadlům od hlavních dveří, jednak pro přístup k zadním sedadlům od čelních dveří. Přední sedadla je možno otočit o 90° pro snazší nástup a o 180° pro komunikaci s osobami na zadních sedadlech (např. při jízdě ve vlacích Complex Trans). Opěradla předních sedadel je možno sklopit do vodorovné polohy a spolu se sklopnými zadními sedačkami je možno vytvořit dvě lůžka. Pod sedadlem řidiče je ve schránce umístěna trakční baterie. Bude-li to potřebné, musí se schránka posunovat se sedadlem řidiče. Sedadlo spolujezdce lze posunovat-otáčet v širokém rozmezí, tak aby nepřekáželo při nastupování a umožňovalo sezení ve směru i proti směru jízdy. Sedadla jsou opatřena samonavíjecími bezpečnostními pásy.

V zadní části vozidla jsou umístěna tři shodná pohodlná čalouněná sedadla o šířce cca 600 mm a výšce sedáku od podlahy cca 470 mm. Všechna tři sedadla jsou samostatně posuvná v podélném směru v širokém rozmezí a mají sklopná opěradla s demontovatelnými opěrkami hlavy. Posunutím všech sedadel vpřed a sklopením opěradel do vodorovné roviny lze vytvořit pohodlné lůžko o rozměrech nejméně 1900 x 850 mm. Posouváním a sklápěním sedáků a manipulací s opěradly lze vytvořit velmi variabilní zavazadlový prostor. Krajní sedadla jsou opatřena

třibodovými bezpečnostními pásy a střední sedadlo je opatřeno dvoubodovým bezpečnostním pásem.

U levé bočnice je umístěn sklopný stolek. Ve sklopené poloze stojí deska stolku ve svislé poloze podél levé bočnice (vrchní stranou stolku směrem k bočnici). Po vytažení směrem vzhůru lze desku sklopit do vodorovné polohy. Deska je přitom podepřena (vetknuta) pouze držákem umístěným na levé bočnici a není opatřena žádnými nohami. Tuhost pracovní desky lze zvýšit buď instalací sklopné nohy nebo zavěšením ke stropu pomocí řetízku na druhém konci stolu. Stolek svými rozměry obsluhuje přinejmenším otočené sedadlo řidiče a levou a střední zadní sedačku. Je třeba usilovat o co největší rozměry stolku, který může být i rozkládací.

### **i) Zavazadlové prostory**

Hlavní vnitřní zavazadlový prostor je umístěn nad zadními sedadly a má rozměry cca 1900 x 500 x 350 mm. Jeho dno je tvořeno kompozitní přepážkou, kterou je možno posouvat ve svislém směru po 50 mm a tím je možno zvětšovat nebo zmenšovat výšku zavazadlového prostoru v rozmezí cca 250 – 550 mm, přičemž se zmenšuje nebo zvětšuje výška prostoru pro cestující sedící na zadních sedadlech. Dno je vepředu opatřeno okrajem vyhnutým vzhůru o několik cm a vzadu okrajem vyhnutým o několik cm dolů. Hlavní zavazadlový prostor je přístupný jednak zvenku po otevření zadních dvoukřídlých dveří, jednak zevnitř po odklopení čelních dvířek směrem dolů.

Variabilní vnitřní zavazadlový prostor vzniká na místě zadních sedadel posunem těchto sedadel vpřed a manipulací s opěradly těchto sedadel. Každou ze tří zadních sedaček lze samostatně posunout vpřed o cca 500 mm a podle přední horní hrany podsedadlového prostoru lze překloupat o 90° směrem vpřed, takže opěradlo se dostane do vodorovné polohy. Opěradlo lze posléze též vztyčit a omezit tak zavazadlový prostor zepředu.

Posunutím levé zadní sedačky vpřed lze namísto jednoho sedadla získat zavazadlový prostor o objemu cca 180 nebo 360 l. Obdobným způsobem lze posouvat i všechny zbývající zadní sedačky. Je však třeba si uvědomit, že odklopením těchto dalších sedadel bez vztyčení opěradla se zamezí možnosti nástupu bočními dveřmi a je možno nastupovat pouze předními dveřmi.

Sklopením všech zadních sedadel vpřed a vztyčením opěradel vznikne další zavazadlový prostor o rozměrech cca 1800 x 600 x 500 mm o objemu 540 l.

Sklopením všech zadních sedadel bez vztyčení opěradel a po odejmutí dna hlavního zavazadlového prostoru vznikne zavazadlový prostor o rozměrech cca 1800 x 1200 x 1200 mm a objemu přes 2500 l, kam je možno umístit dvě europalety s celkovou hmotností do cca 400 kg. Europalety je zapotřebí zajistit proti posunutí šikmými lanovými závěsy. Opět je nutno nastupovat předními dveřmi.

Zadní vnější zavazadlový prostor vznikne nad zadní nápravou po jejím vysunutí. Na vysunutou zadní nápravu je možno upevnit přídatelný uzamykatelný vnější plastový zavazadlový box o rozměrech cca 1900 x 500 x 500 mm a objemu cca 475 l. Tento vnější plastový box je též možno po otevření zadních dveří a posunutí zadních sedaček vpřed umístit dovnitř vozidla. Toto přemístění dovnitř vozidla je důležité pro umožnění zasunutí zadní nápravy při dopravě vozidla ve vlacích ComplexTrans nebo při kolmém parkování nebo při přesunu na visuté parkovací stání.

Na vysunutou zadní nápravu je též možno upevnit rozměrné předměty, jako např. jízdní kola, ledničku pračku, nábytek apod. Za tím účelem jsou na zadní nápravě vytvořeny různé úchytové možnosti. Tento zavazadlový prostor po zasunutí zadní nápravy zaniká.

Přední vnější zavazadlový prostor vznikne v prostoru přední nápravy po jejím vysunutí a má rozměry cca 1100 x 500 x 400 mm a objem cca 220 l, je však narušen řízením. Tento příležitostný zavazadlový prostor je však umístěn velmi nízko nad vozovkou, je vystaven znečištění a hodí se pouze pro přepravu materiálu, surovin, kapalin apod. Tento příležitostný zavazadlový prostor po zasunutí přední nápravy zaniká.

Lyže o délce do 1900 mm je vhodné ve vozidle přepravovat tím způsobem, že se zadní sedačky posunou asi o 20 cm vpřed, čímž se za nimi vytvoří prostor dobře přístupný zadními dveřmi. Lyže je též možno přepravovat v hlavním zavazadlovém prostoru (pokud nejsou mokré) nebo upevněné na vysunuté zadní nápravě.



## **j) Topení, ventilace, klimatizace**

Vozidlo je vytápěno, klimatizováno a má nucenou ventilaci.

K topení se využívá:

- odpadního tepla chlazení spalovacího motoru během jízdy;
- elektrických topných panelů nebo tepelného čerpadla během dlouhodobého stání a při připojení k elektrické síti;
- otevřených dveří do vytápěného prostoru během dlouhodobého stání.

Ke klimatizování se využívá vlastní klimatizační jednotky.

## **k) Osvětlení**

Vnější osvětlení je umístěno přednostně přednostně na výsuvných nápravnicích. Vhodné prostory jsou v horních rozích nápravnic před koly a za koly. Umístění osvětlení v těchto místech však nesmí zvětšovat vnější rozměry vozidla ani nepřipustně omezovat vnitřní uspořádání. Pokud se to nepodaří, je nutno nalézt jiné vhodné prostory na nápravnicích nebo na karosérii vozidla. Vhodnými místy na přední karosérii jsou prostory nad předními koly, vhodnými místy na zádi karosérii jsou krajní prostory v horní části zadního okna (pod hlavním zavazadlovým prostorem).

Vnitřní osvětlení musí zabezpečovat dostatek světla pro administrativní práci na sklápěcím stole.

## **l) Panel řidiče**

Panel řidiče je umístěn pod čelním oknem a je přerušen čelními nástupními dveřmi s integrovaným vzduchovým kanálem. Panel není příliš hluboký. Před řidičem se nachází volant, který se odklápí/odnímá při otočení sedadla řidiče do protisměru. Dále jsou před řidičem umístěny všechny běžné ovládací prvky. Vpravo od řidiče je umístěn velkoplošný displej, který může sloužit pro poskytování hlavních informací, pro navigaci nebo promítání filmů. Je výhodné, aby displej byl displejem otevřeného odnímatelného notebooku, který lze použít i v jiném místě vozidla.

### **m) Spřahovací zařízení**

Vozidlo je určeno též pro dopravu v silničních soupravách sestávajících z několika kupémobilů. Proto je nutné, aby bylo vybaveno elektronickým spřahovacím zařízením, které umožní ovládat všechna vozidla soupravy z prvního vozidla soupravy. Od prvního vozidla jsou do všech vozidel soupravy předávány signály o intenzitě zrychlení, o intenzitě zpomalení a plném brzdovém účinku, o změně směru, o směrových světlech a osvětlení. Tyto signály jsou eventuálně korigovány pomocí vestavěného radaru měřícího odstup od předchozího vozidla soupravy.

### **n) Informační a vyhodnocovací zařízení**

Toto zařízení je zapotřebí, zapojí-li se majitel vozidla do systému veřejné hromadné dopravy a přepravuje během své vlastní dopravy za úplatu i jiné osoby. V tom případě obdrží od organizátora MHD bezplatně uvedená zařízení, která umístí do svého vozidla. Informační opticko - akustické zařízení o rozměrech cca 300 x 200 x 50 mm viditelné z vnějšku i vnitřku vozidla a slyšitelné zevnitř vozidla informuje cestujícího o jeho místu k sezení a o nutnosti vystoupení a je umístěno vevnitř vozidla za bočním předním oknem. Vyhodnocovací zařízení je umístěno uvnitř vozidla u vstupních dveří. Při nástupu a výstupu do a z vozidla přikládá cestující k zařízení osobní komunikátor s údajem o cíli cesty a tato informace se zpracovává jak pro informační zařízení, tak pro úhradu odměny majiteli vozidla.

## 2. MOŽNOSTI USPOŘÁDÁNÍ POHONU

Největším důvodem pro zavádění hybridních elektrických pohonů do dopravních prostředků je nízká účinnost tradičních spalovacích motorů, snižování emisí výfukových plynů a stále se zmenšující zásoby klasických fosilních paliv jako je motorová nafta nebo benzín.

Obecně je hybridním pohonem nazýván takový pohon, který využívá několika různých zdrojů energie pro pohon jednoho dopravního prostředku. Může se jednat o různé kombinace zdrojů a akumulátorů energie, např. o spalovací motor – elektromotor – akumulátor, palivový článek – elektromotor – akumulátor, spalovací motor – setrvačnick apod. Nejrozšířenější a v současné době nejpropracovanější koncepcí je kombinace spalovací motor – elektromotor – akumulátor.

Podle principu činnosti (propojení jednotlivých komponent) rozlišujeme:

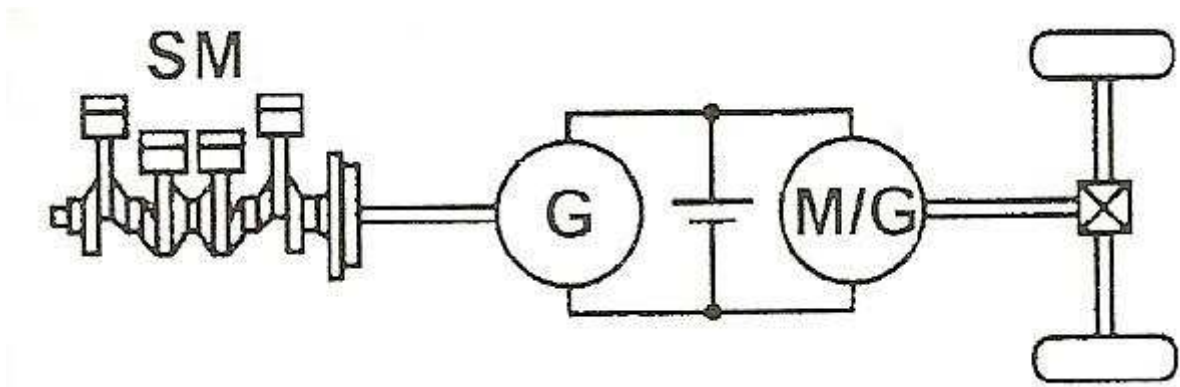
- Sériový hybridní pohon;
- Paralelní hybridní pohon;
- Smíšený hybridní pohon.

### 2.1 SERIOVÝ HYBRIDNÍ POHON [3]

Jednotlivé poháněcí komponenty jsou uspořádány za sebou (obr. 9).

Pro elektrické stroje značí údaj M nebo G možnost motorického nebo generátorového druhu provozu. Mechanické spojení spalovacího motoru pro pohon vozidla při sériovém uspořádání je možné při konstantních otáčkách jen v optimálním režimu provozu, vzhledem k účinnosti a emisím výfuku. Spalovací motor může být provozován ve velmi úzkém rozsahu otáček, nebo dokonce jen při jedné otáčce. Tím odpadají nevhodné režimy pracovní charakteristiky, jako je volnoběh nebo spodní rozsah částečných zatížení, motor tedy může být nastaven na optimální pracovní rozsah s nejvyšší účinností.

Jestliže akumulátory nemohou pokrýt momentální potřebu energie, je spalovací motor automaticky nastartován. Naproti výhodě sériového uspořádání je nevýhoda vícenásobné přeměny energie. Vzhledem k účinnosti nabití akumulátoru je mechanická účinnost mezi spalovacím motorem a hnanou nápravou stěžší větší než 55 %.



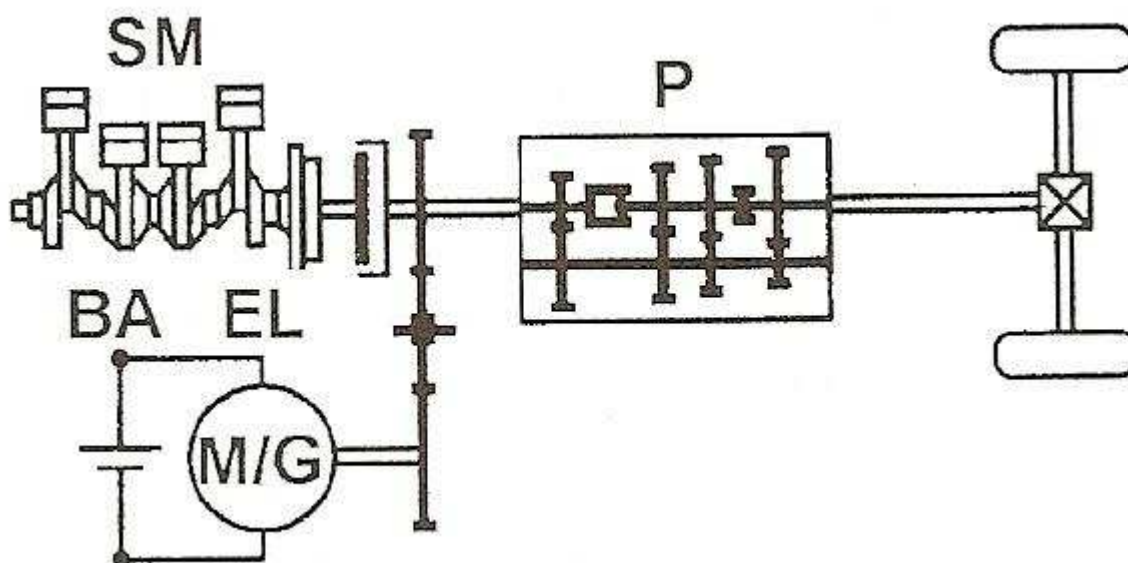
**Obr. 9 Sériové uspořádání hybridního pohonu [3]**

(SM – spalovací motor, G – generátor, M/G – elektromotor pracující jako motor nebo generátor)

## 2.2 PARALELNÍ HYBRIDNÍ POHON [3]

Jeho výhoda tkví v tom, že při provozu se spalovacím motorem nedochází k žádnému zhoršení oproti normálnímu provozu vozidla. Při tomto uspořádání (obr. 10) je pro pohon spalovacím motorem nutný mechanický připojovací prostředek a převodovka. Převodovka konvenčního typu je společná také pro elektrickou poháněcí větev. U této poháněcí varianty postačuje analogicky měnit otáčky elektrického stroje ve vztahu k spalovacímu motoru jen v rozsahu již uvedeném (účinnost a emise). To může splnit pouze elektromotor nakrátko se silným budicím polem. Maximální otáčky elektromotoru odpovídají maximálním otáčkám spalovacího motoru. Tankování, respektive výměna akumulátorů omezuje dojezd při pohonu elektromotorem asi na 150 km s omezeným výkonem asi 30 kW a s asi osmihodinovou dobou dobíjení. Současným zapnutím obou zdrojů energie je možno při nízkých otáčkách motoru zvýšit tažnou sílu. V kombinovaném provozu zůstává spalovací motor trvale zapnut, teprve při velkém zrychlení, např. při předjíždění, se zařadí elektromotor, čímž se zvýší krátkodobě požadovaný špičkový výkon. Tímto převýšením točivého momentu poskytuje paralelní hybrid výkonovou rezervu odpovídající výkonu velkoobsahového spalovacího motoru.

Rovněž při elektrickém provozu může být následným zapnutím spalovacího motoru zlepšena jízdní dynamika. V městském provozu odpovídá elektrický pohon provozu se spalovacím motorem.



**Obr. 10 Paralelní uspořádání hybridního pohonu [3]**

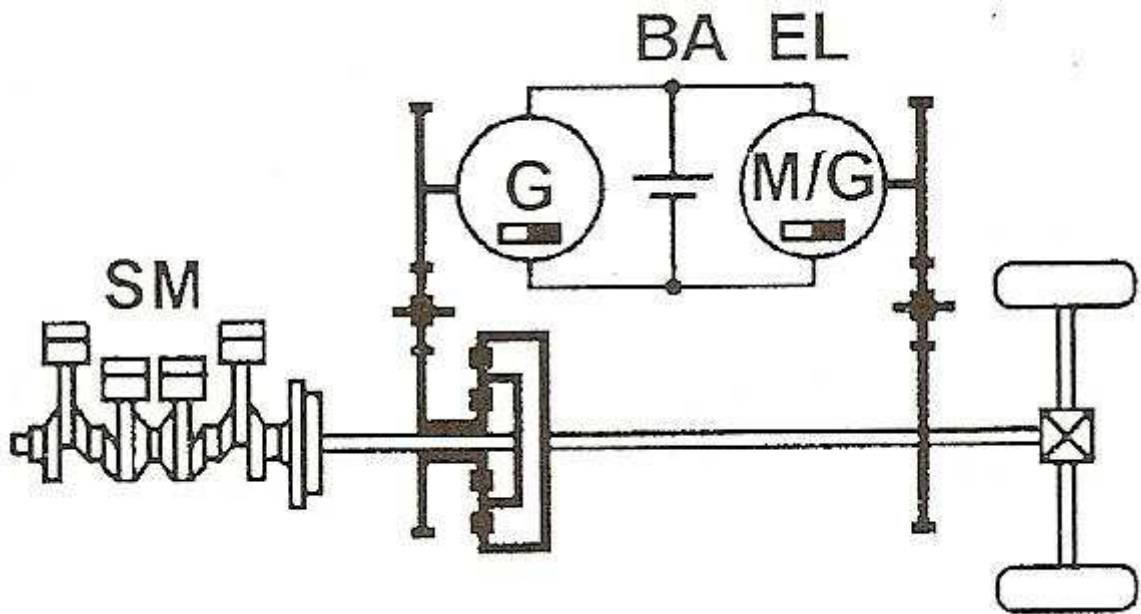
(SM – spalovací motor, EL – elektromotor, G – generátor, M/G – elektromotor pracující jako motor nebo generátor, P – převodovka, BA - akumulátor)

Vývoj paralelního hybridního pohonu koncentrující se na jmenovitou hodnotu dojezdu se současnými těžkými akumulátory není pro pokrokové automobilky cílem. Překážkou sériového zavedení jsou vysoké náklady přídatných komponentů a omezená životnost.

### 2.3 SMÍŠENÝ HYBRIDNÍ POHON [3]

Při srovnání obou výše uvedených systémů hybridních pohonů je paralelní uspořádání vhodnější pro projíždění úseků dráhy bez emisí. Sériový hybrid pak zvyšuje hodnotu typického elektromobilu.

Nevýhody základních koncepcí paralelního a sériového uspořádání vedly k vývoji smíšeného hybridního systému (obr. 11). Jeho vybavení spalovacím motorem, elektromotory, komponentami převodů, spojkou, volnoběžkami, brzdami je libovolně rozmanité. Například to může být sériový hybrid s propojovací spojkou spalovacího motoru ke kolu. Pokud vede tok výkonu spalovacího motoru přitom paralelně po různých cestách ke kolu, tak se hovoří o principu větvení výkonu. Větvení výkonu se přitom může dít mechanicky diferencíálem nebo elektricky.



**Obr. 11 Smíšené uspořádání hybridního pohonu [3]**

(SM – spalovací motor, EL – elektromotor, G – generátor, M/G – elektromotor pracující jako motor nebo generátor, P – převodovka, BA - akumulátor)

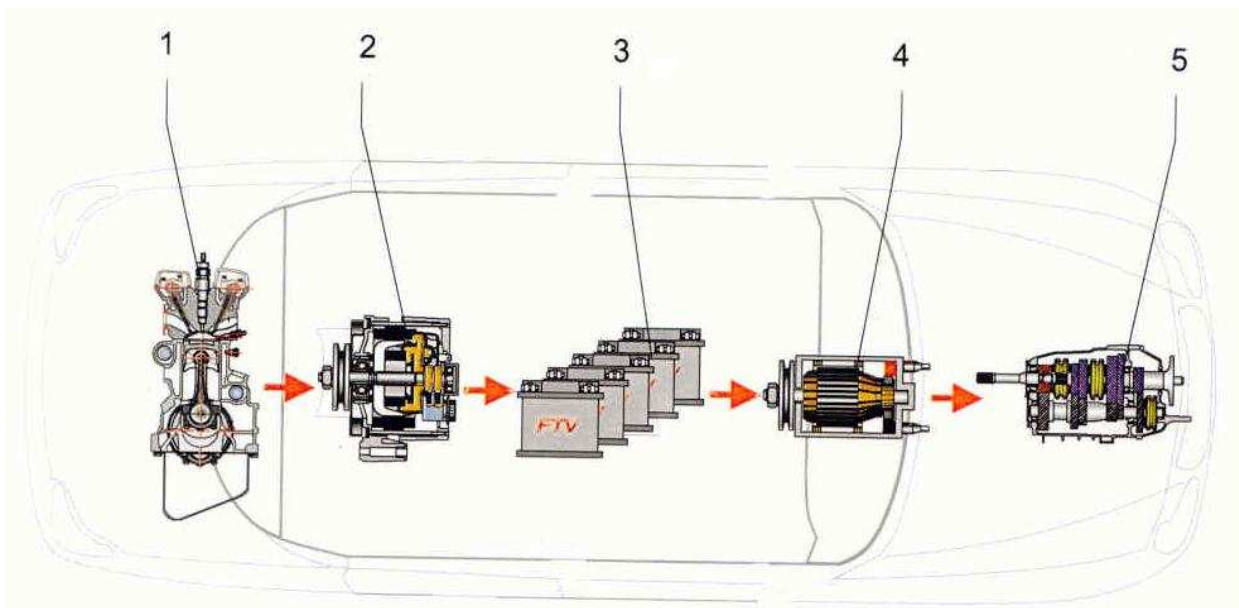
## 2.4 ZDROJE ELEKTRICKÉ ENERGIE

Hybridní vozy využívají jako zdroj trakční síly jeden nebo více elektromotorů, které jsou poháněny vlastní elektřinou uloženou v energetických zásobnících nebo vyrobenou během jízdy. K její výrobě mohou např. sloužit:

- Spalovací motor + generátor;
- Lineární spalovací motor-generátor;
- Palivové články.

### 2.4.1 Spalovací motor + generátor

V současnosti je nejpoužívanějším zdrojem elektrické energie pro hybridní pohony konvenční pístový spalovací motor (zážehový nebo vznětový) kombinovaný s generátorem elektrické energie (např. alternátor - spouštěč).

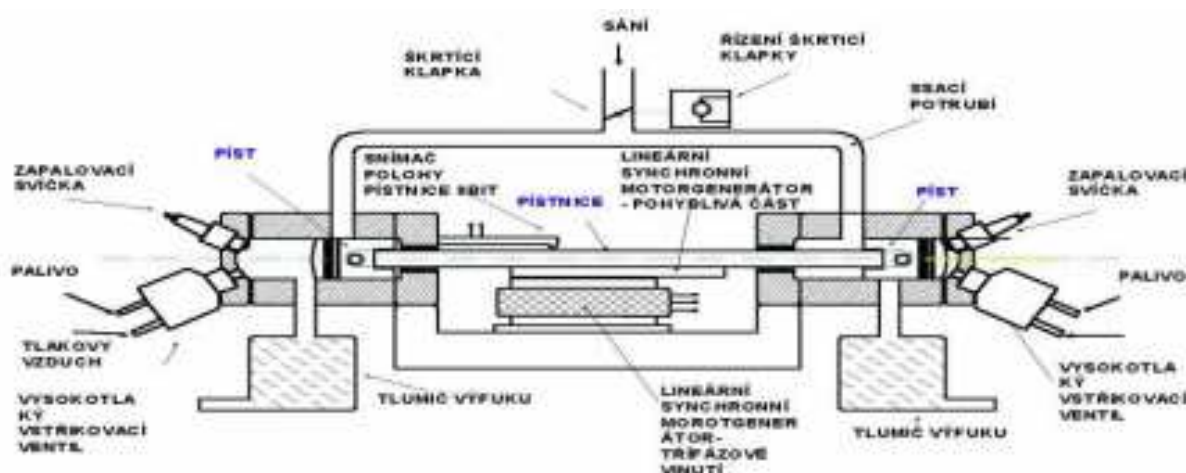


**Obr. 12 Příklad použití spalovacího motoru s generátorem u sériového uspořádání hybridního pohonu**

(1 – spalovací motor, 2 – generátor, 3 – akumulátor, 4 – elektromotor, 5 – převodovka)

#### 2.4.2 Lineární spalovací motor-generátor (LCE) [4]

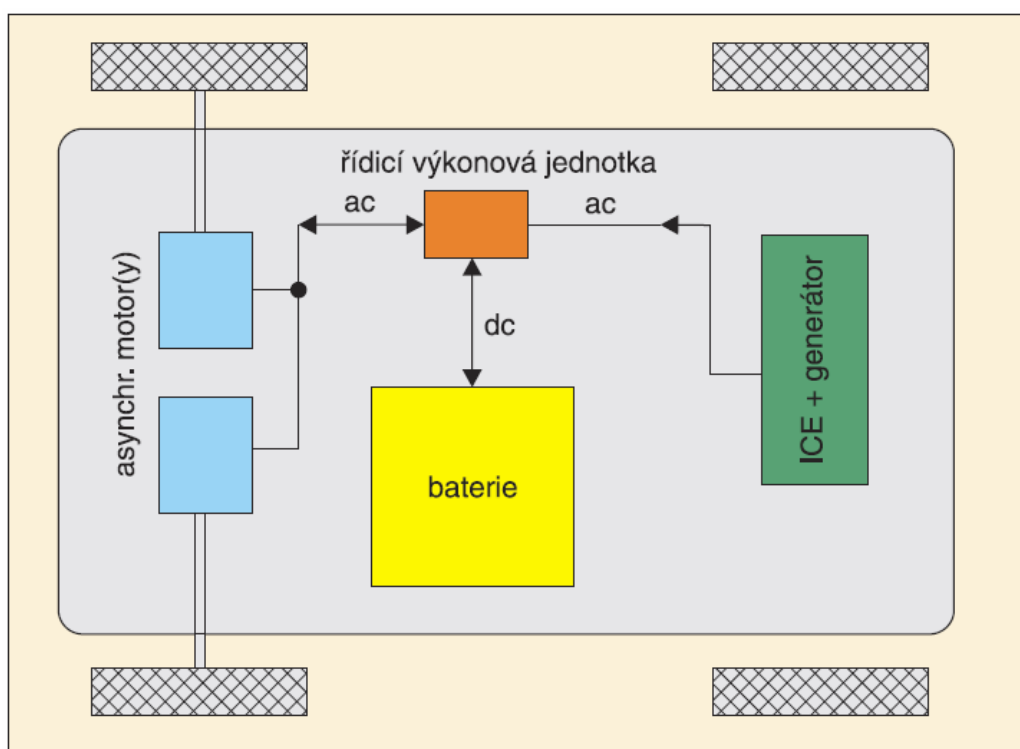
Projekt lineárního spalovacího motor-generátoru (Linear Combustion Engine) vznikl jako snaha o jednodušší a účinnější přeměnu energie spalování na elektrickou energii.



**Obr. 13 Princip lineárního spalovacího motor-generátoru [4]**

Tento typ motoru nemá žádný mechanický výstupní hřídel, výstupem je přímo elektrická energie. Princip (obr. 13) spočívá v přímém spojení dvou protiběžných pístů bez použití klikového mechanismu. Na spojovací tyči jsou umístěny silné permanentní magnety, které se pohybují v magnetickém poli cívek a kmitavý pohyb pístů je převáděn na elektrickou energii na základě tzv. Faradayova zákona.

Protože zařízení neobsahuje klikový mechanismus, nejsou ani přesně vymezeny úvratě pístní tyče. Proto se této koncepci často také říká motor s volnými písty (Free Piston Engine).



**Obr. 14 Příklad použití lineárního spalovacího motor-generátoru u sériového uspořádání hybridního pohonu [4]**

Lineární spalovací motor je vhodný pro hybridní pohon sériové koncepce (obr. 14). Spalovací motor zde vůbec není mechanicky spojen s koly, ale za pomoci generátoru pouze dodává elektrickou energii do palubní sítě. K samotnému pohonu se pak používají trakční motory. Výhodou je, že není třeba žádná převodovka, neboť trakční motory jsou schopné pracovat v širokém rozsahu otáček s vysokou účinností. Při použití dvou motorů odpadá i diferenciál. Nabízí se i možnost použití čtyř menších motorů umístěných přímo u kol a získat tak plnohodnotnou čtyřkolku, bez nutnosti používat složité mezinápravové diferenciály.



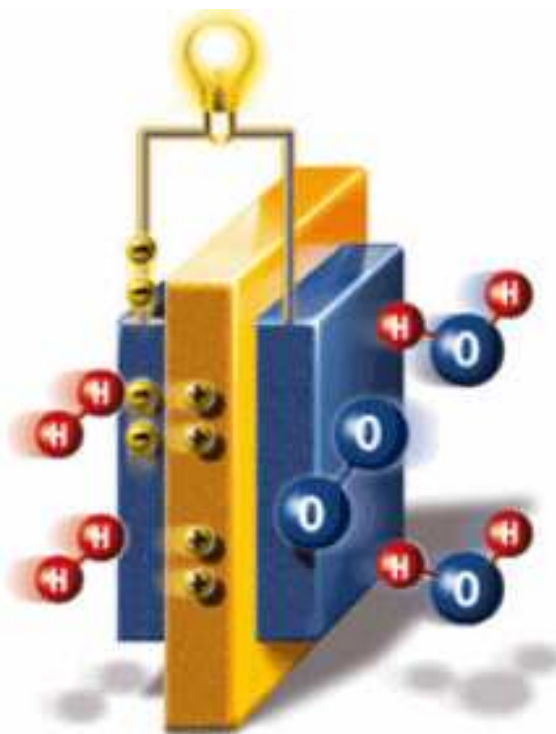
Největší výhodou však je, že lineární spalovací motor pracuje pouze ve svém optimálním režimu. Pokud je dost energie v akumulátorech, motor se úplně vypíná.

### 2.4.3 Palivové články

Palivový článek (obr. 15) je zařízení, které při elektrochemické reakci přeměňuje chemickou energii kontinuálně přiváděného paliva s oxidačním činidlem na energii elektrickou. Na rozdíl od baterií nejsou aktivní chemické látky součástí anody a katody, ale jsou k nim průběžně přiváděny zvnějšku. Obě elektrody působí výlučně jako katalyzátor chemických přeměn, během činnosti článku se téměř neopotřebovávají a jejich chemické složení se nemění.

Oproti tepelným strojům s generátorem elektrické energie dosahují palivové články při výrobě elektrické energie vyšších účinností a to až 60 % v laboratorních podmínkách. Reálná účinnost však dosahuje pouze 35 - 50 %, dle zatížení a typu palivového článku. Vysoká účinnost je dána zejména tím, že přeměna energie je přímá, nikoliv přes mezistupně (tepelnou a mechanickou), jako je tomu např. u konvenčních spalovacích motorů.

Jedná se o relativně nový způsob využívání energie, což znamená, že neexistují žádné zaběhnuté postupy ani zkušenosti s každodenním provozem. Princip jako takový je sice znám, ale každá nová technologie má tzv. dětské nemoci.

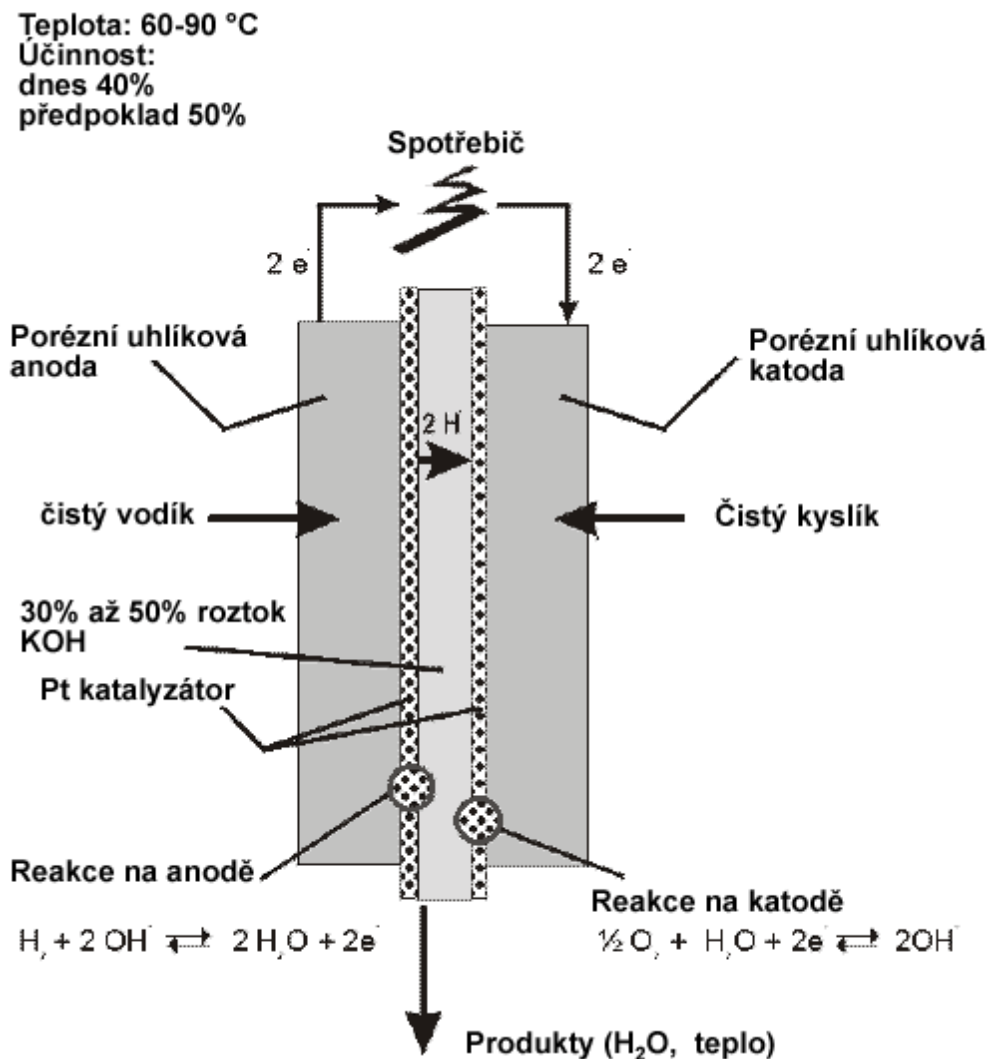


Obr. 15 Schéma palivového článku

### a) Alkalické články (AFC)

Elektrody jsou zpravidla vyrobeny ze spékaného práškového niklu s přídavkem uhlíku (za účelem zvýšení elektrické vodivosti) a opatřené platinovým povlakem, který plní funkci katalyzátoru.

Elektrolytem je zpravidla zředěný hydroxid draselný.



Obr. 16 Schéma alkalického článku (AFC) [5]

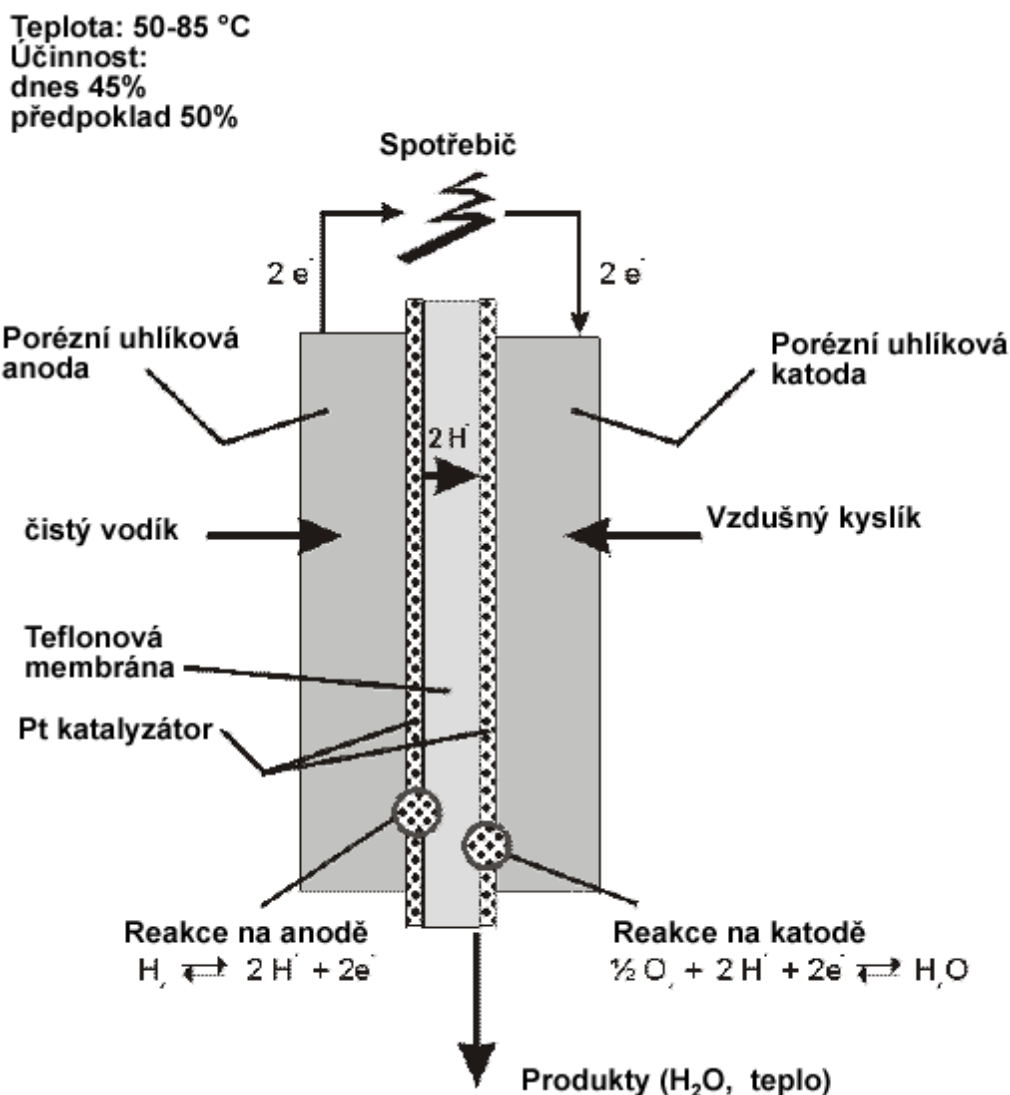
## b) Články s tuhými polymery (PEMFC)

Měrný výkon těchto článků je až o řád vyšší než u ostatních typů (s výjimkou moderních článků s kyselinou fosforečnou, jejichž parametry jsou srovnatelné).

Elektrolytem je tenká polymerová membrána, která vypadá jako silnější folie na balení potravin.

Elektrody jsou vyrobeny aplikací malého množství platinové černi na jednu stranu tenkého listu porézního grafitického papíru, jenž byl předem opatřen teflonovým povlakem proti zvlhnutí.

Elektrolytická membrána je vložena mezi katodu a anodu a všechny tři části jsou za působení tepla a velkého tlaku spojeny v jeden celek s tloušťkou menší než 1 mm.

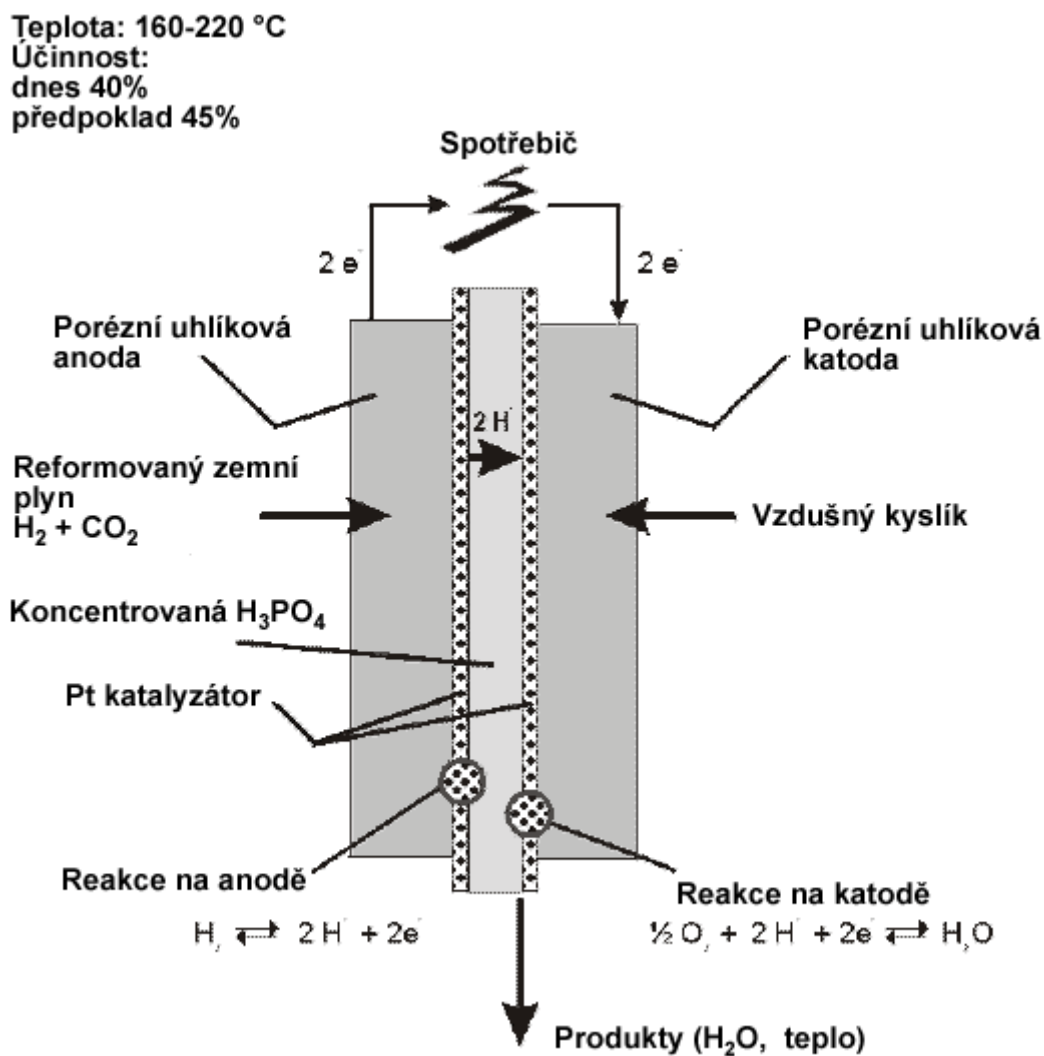


Obr. 17 Schéma článku s tuhými polymery (PEMFC) [5]

### c) Články s kyselinou fosforečnou (PAFC)

Obě elektrody jsou tenké destičky z pórovitého uhlíku opatřené platinovým povlakem, sloužícím jako katalyzátor.

Elektrolytem je kyselina fosforečná, která je obsažena v matrici z karbidu křemíku s přísadou teflonu.

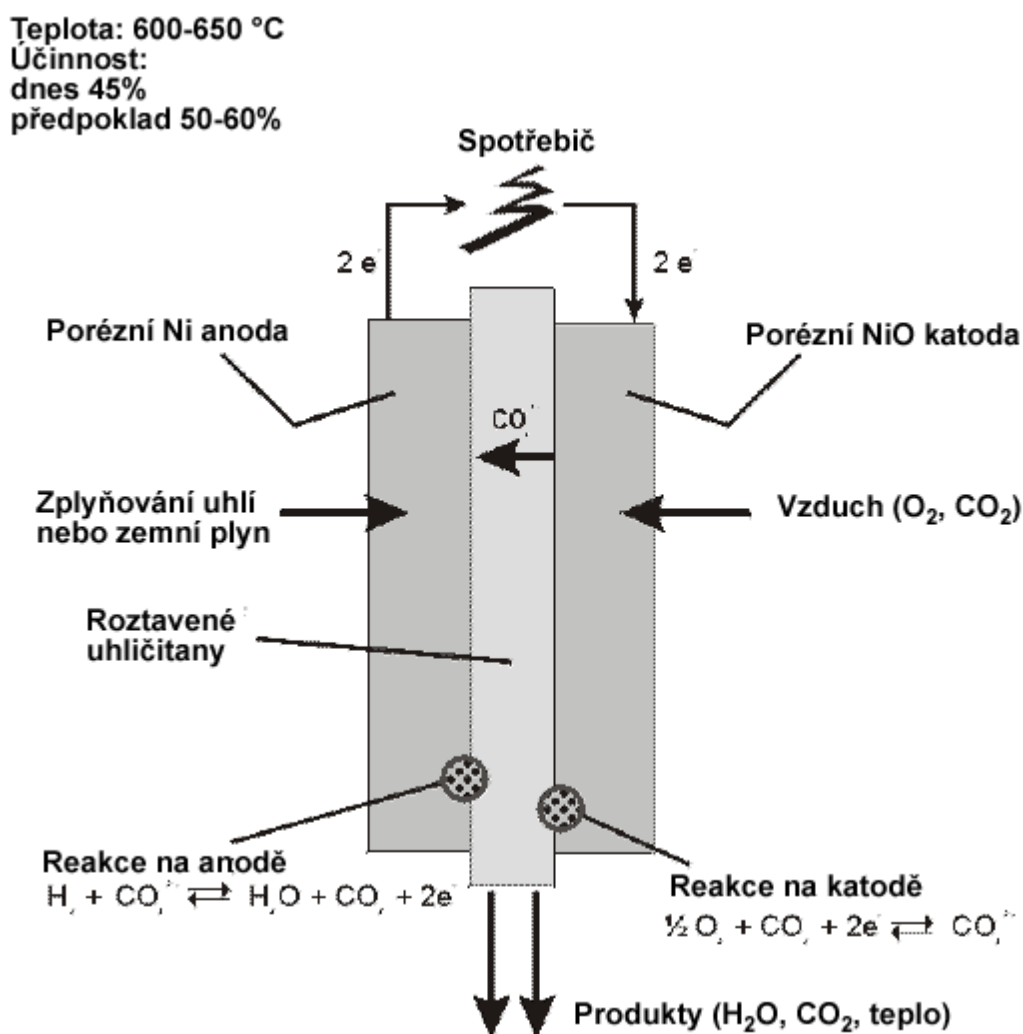


Obr. 18 Schéma článku s kyselinou fosforečnou (PAFC) [5]

#### d) Články s roztavenými uhličitany (MCFC)

Elektrolytem je směs roztavených uhličitánů v pórovité chemicky inertní keramické matici sestávající ze směsi oxidu lithia a hliníku. Složení elektrolytu se může měnit, avšak obvykle obsahuje uhličitán lithný a uhličitán draselný.

Obě elektrody musí být navrženy tak, aby byly schopny trvale pracovat ve velmi agresivním prostředí za vysokých teplot, což vyvolává korozi. Anoda je vyrobena spékáním práškového niklu s přísadou chromu a je vysoce porézní. Katoda je vyrobena z oxidu nikelnatého dopovaného lithiem.

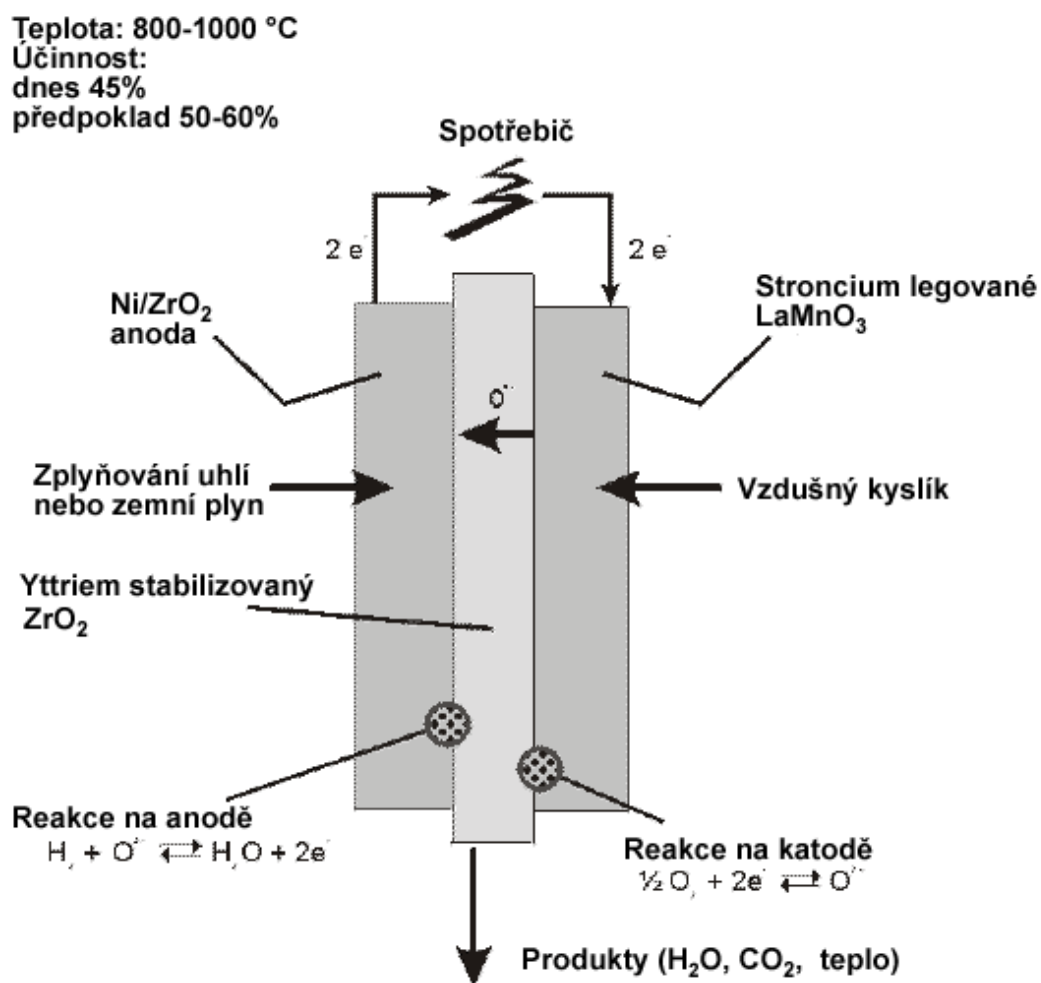


Obr. 19 Schéma článku s roztavenými uhličitany (MCFC) [5]

### e) Články s tuhými oxidy (SOFC)

Elektrolytem bývá nejčastěji tuhá směs oxidů ytria a zirkonu. Tyto látky patří při dostatečně vysokých teplotách mezi výborné vodiče dvojmocných aniontů kyslíku.

Anoda sestává z niklu a oxidu zirkoničitého stabilizovaného oxidem ytřitým (někdy s přísadou chromu) a je velmi porézní. Katoda má rovněž porézní strukturu a vyrábí se ze slitiny lanthanu a oxidu manganového, dopované stronciem.



Obr. 20 Schéma článku s tuhými oxidy (SOFC) [5]

## 2.5 ZÁSObNÍKY ELEKTRICKÉ ENERGIE

Akumulace elektrické energie je jedním ze závažných problémů nově vyvíjených elektrických i hybridních pohonů vozidel. Zásadním problémem je malá objemová a hmotnostní energetická hustota akumulátorů v porovnání s hustotou energie klasických paliv, používaných v zážehových nebo vznětových motorech.

### 2.5.1 Akumulátorové baterie

#### a) Olověné akumulátory (obr. 21)

Činnou hmotu na kladné elektrodě tvoří oxid olovičitý a porézní olovo na záporné elektrodě. Elektrolytem je kyselina sírová a voda. Kladné a záporné desky jsou odděleny separátory, které jsou dnes vytvořeny jako tkaniva jemných vláken umělých hmot. Napětí článku je 2 V. Podstatné zlepšení všech vlastností akumulátoru bylo docíleno zpevněním olova namísto antimonu vápníkem. Výhodou je vyšší elektrická vodivost, tedy vyšší výkon, značné prodloužení životnosti a podstatné zmenšení spotřeby vody (g/Ah) téměř na čtvrtinu, což umožnilo konstrukci akumulátoru zcela bez údržby.



Obr. 21 Olověný akumulátor

Prakticky jedinou výhodou olověných akumulátorů oproti jiným typům akumulátorů je nižší cena.

Nevýhodami jsou pokles kapacity při nízkých teplotách a při vzrůstu vybíjecích proudů, nízká měrná energie a výkon, velká citlivost na vybíjecí a nabíjecí režim.

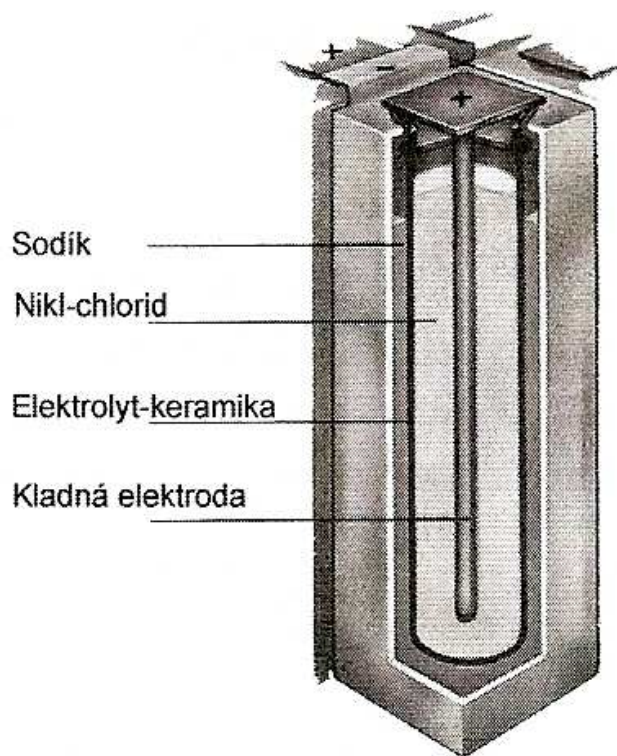
### **b) Akumulátory sodík-síra a sodík-niklchlorid (vysokoteplotní)**

System Na-S, případně Na-Ni-Cl (obr. 22), má čtyřnásobně vyšší energetickou hustotu než akumulátor olověný. Elektrody sodík i síra (niklchlorid) jsou při chemické reakci tekuté. Elektrolyt je tvořen oxidem hlinitým. Při vybíjení akumulátoru dochází k přenosu iontů elektrolytem od záporného ke kladnému pólu tak dlouho, než se článek vybije. Při nabíjení se ionty hromadí u záporných elektrod. Protože samotná síra není vodivá, používá se k vedení proudu grafitová plst, která je spojena s kovovou kostrou sloužící jako kladný pól. Obě tekutiny jsou od sebe odděleny pevným elektrolytem. Tvoří jej desky z keramické hmoty oxidu hlinitého beta. Ten se vyznačuje vysokou vodivostí pro sodíkové ionty, které reakcí se sírou vytvářejí polysulfid solný. Sodík se ve vnitřním prostoru akumulátoru postupně spotřebuje, hladina tekutiny klesá, současně stoupá hladina tekutiny ve vnějším prostoru článku. Při nabíjení dochází k obrácenému postupu. Články mohou být řazeny jak sériově, tak i paralelně. Každý jednotlivý článek je vytvořen jako pohár, na jehož stěně je síra v grafitové plsti pro zlepšení vodivosti. Mezi sírou a sodíkem je keramický elektrolyt rovněž ve tvaru poháru. Akumulátor je absolutně bezúdržbový a plynotěsný, jeho proudová účinnost je 100%, což vede k energetické účinnosti přes 88 %. K udržení pracovní teploty je nutno z akumulátoru odebírat část energie, která se projevuje jako ztráty.

Mezi výhody patří vysoká měrná energie a měrný výkon.

Nevýhodami jsou relativně malá životnost vzhledem k vysoké ceně a nutnost tepelné izolace akumulátorů.





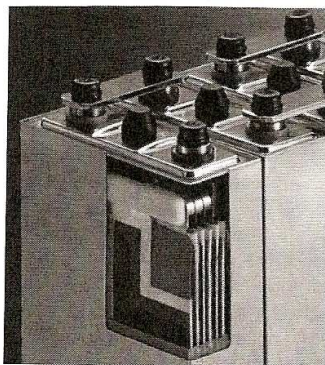
**Obr. 22 Akumulátor sodík-niklchlorid [3]**

**c) Akumulátory nikel-kadmium (obr. 23)**

Jedná se o plně recyklovatelné a bezúdržbové akumulátory. Kladné elektrody jsou tvořeny hydroxidem nikelným, záporné hydroxidem kademnatým. Elektrolytem je vodný roztok hydroxidu draselného. Napětí článku je 1,2 V.

Výhodami jsou vysoká proudová zatížitelnost, vysoký počet cyklů, dlouhá životnost, malá hmotnost a velký rozsah pracovních teplot.

Nevýhodami jsou větší spotřeba vody, sklon k tzv. paměťovému efektu a toxicita kadmia.



**Obr. 23 Akumulátor nikel-kadmium [3]**

#### **d) Akumulátory niki-železo**

Konstrukcí i vlastnostmi jsou stejné, jako akumulátory niki-kadmium. Záporné elektrody jsou však ze železa, takže nejsou toxické.

Oproti niki-kadmiovým akumulátorům mají tyto akumulátory ještě větší spotřebu vody, dvojnásobný vnitřní odpor, nižší energetickou účinnost a větší pokles kapacity za nízkých teplot.

#### **e) Akumulátory niki-metalhydrid (obr. 24)**

Mají mnoho společných znaků jako niki-kadmiové akumulátory. Materiálem záporné elektrody je však slitina lanthanu, kobaltu, hliníku a manganu, která při nabíjení vytváří metalhydrid a nahradila škodlivé kadmium. Elektrolytem je zředěný hydroxid.

Ni-MH akumulátory jsou ekologické a dosahují ještě vyšší hodnoty měrné energie. Jsou však dražší a citlivější na nabíjecí a vybíjecí režim. Životnost je poloviční proti Ni-Cd akumulátorům.



**Obr. 24 Akumulátor niki-metalhydrid**

#### **f) Akumulátory zinek-vzduch**

Dosahují vysoké hustoty energie a při tom jsou o 30 % lehčí než například akumulátory typu sodík-síra. Elektrolyt je tvořen vodným roztokem hydroxidu sodného. Požadovaný odběr výkonu vyžaduje jeho chlazení, při nízkých teplotách musí být ohříván.

### g) Akumulátory lithium-iontové

Materiálem katody jsou  $\text{LiCoO}_2$ ,  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  či  $\text{LiNiO}$ . Napětí článku se pohybuje v rozmezí 3-4 V.

Novou generací lithium-iontových nabíjecích baterií jsou akumulátory postavené na bázi lithium-železofosfátu -  $\text{LiFePO}_4$  (obr. 25). Toto označení získaly díky katodě vyrobené z tohoto materiálu. Anoda je jako u ostatních li-ion baterií vyrobena z uhlíku. Mezi jejich hlavní přednosti oproti klasickým lithium-iontovým akumulátorům patří především schopnost dodat vyšší proud a to, že při extrémních podmínkách nevybuchují. Nominální napětí  $\text{LiFePO}_4$  článků je zhruba 3,2 V (mezi 3,0 až 3,3 V), maximální nabíjecí napětí je 4,25V. Minimální napětí na které je možné článek vybit je obvykle 2,8V. Některé akumulátory jsou schopny dodat pracovní proud impulsně až 10C (tj. 10x kapacita) a životnost je udávána více jak 2000 cyklů. Lze je použít v rozmezí teplot  $-20^\circ\text{C}$  až  $70^\circ\text{C}$ . Samov ybíjecí efekt u těchto akumulátorů prakticky neexistuje a je možné je nabíjet v jakémkoliv stavu vybití (nemají paměťový efekt). Bezpečnost  $\text{LiFePO}_4$  akumulátorů vyplývá z vlastností tohoto materiálu. Katoda je u klasických li-ion článků tvořena z  $\text{LiCoO}_2$ . Vazba Fe-P-O je daleko silnější než Co-O, takže při špatném použití (zkratování článku, vystavení vysoké teplotě) je daleko těžší uvolnit atomy kyslíku.  $\text{LiFePO}_4$  akumulátory jsou tedy velmi bezpečné a stabilní.



Obr. 25 Lithium-iontový akumulátor nové generace ( $\text{LiFePO}_4$ )

### h) Akumulátory lithium-polymer

Anoda je z lithiové a katoda z kovové fólie se zakotveným organosulfidovým polymerem. Podle použitého materiálu elektrod může článek dosahovat napětí 1,8 až 3 V.

### 2.5.2 Superkondenzátory [3]

Jedná se o kondenzátor s vysokou životností pro opakované použití, který dodává další dávku elektrické energie vybíjením a nabíjením, potřebnou pro krytí výkonových špiček při akceleraci a velkém zatížení vozidla. Elektrochemické akumulátory sice dosahují poměrně vysokou hustotu energie, ale jejich výkonová hustota je velmi malá. Pro použití v hybridních vozidlech vede tato okolnost ke zvyšování hmotnosti vozidla a ke zhoršení dynamických vlastností.



**Obr. 26** Struktura superkondenzátoru

Vysoko energetické kondenzátory (obr. 26) uchovávají energii ve formě elektrostatické energie a vyrábí se různými technologiemi. Existují kondenzátory na bázi keramiky, klasické svitkové nebo metalické kondenzátory s různým dielektrikem pro střední frekvence do řádu 10<sup>5</sup> Hz a pro nízké a střední frekvence jsou to elektrolytické nebo tantalové kondenzátory. Uvedené kondenzátory se vyrábějí v různém výběru velikostí a provedení.

Nový typ kondenzátoru tzv. superkondenzátor, má ve výrobním programu řada světových výrobců. V principu mohou zvýšit měrnou kapacitu o několik řádů. Jsou založeny na využití vlastností elektrické dvojvrstvy.

## **2.6 TRAKČNÍ ELEKTROMOTORY**

Zásadně je možno ve stavbě elektromotorů použít celé řady tradičních principů činnosti, využitelných pro trakční pohony. Trakční elektromotory určuje zejména hodnota momentu, menší význam má hodnota výkonu. Konstrukce musí být spolehlivá a ve velkém rozsahu otáček musí být k dispozici dostatečný výkon. Důležitá je kompaktní stavba, vysoká účinnost při malé hmotnosti, krátkodobá přetížitelnost, nízká hladina hluku, nízké udržovací náklady a výhodná cena.

### **2.6.1 Stejnoseměrné elektromotory**

Stejnoseměrné elektromotory se vyznačují jednodušší regulací a příznivější momentovou charakteristikou oproti střídavým elektromotorům. Mají však nižší výkon a energetickou účinnost, náročnější údržbu a jsou dražší.

#### **a) Stejnoseměrný motor se sériovým buzením**

Budící vinutí je zapojeno sériově s kotvou, takže proud je současně budícím proudem. Tento motor má nejjednodušší regulaci. Jeho napětí je úměrné požadované hodnotě proudu tak, že regulátor výkonu (tyristor nebo tranzistor) řídí napětí akumulátoru v proměnném spínání nebo proměnné frekvenci. Charakteristika je velmi měkká, ale při odlehčení vzrostou otáčky natolik, že hrozí poškození elektromotoru. Proto nikdy nesmí pracovat bez zatěžovacího momentu na hřídeli. Vzhledem k tomu, že je schopný rozbíhat velké setrvačné hmoty a otáčky se samočinně přizpůsobují zatížení je vhodný pro pohon dopravních prostředků.

#### **b) Stejnoseměrný motor s cizím buzením**

Budící vinutí je napájeno z cizího zdroje. Reguluje se napětí rotoru a budícího proudu. Tento elektromotor má tvrdou momentovou charakteristiku. Snadno lze měnit směr otáčení a jednodušší je rekuperační brzdění. Výhodou je snadná a plynulá regulace v širokém rozsahu a tahové charakteristiky. Má však nižší záběrový moment. Při vysokém napětí celého systému motoru je docíleno vyšší účinnosti, protože poklesy napětí na kartáčích a tyristorech se vztahují na celkové napětí, tedy jsou podstatně menší než při nízkém napětí systému. Dále při vysokém napětí mohou být proudy na motoru a spojovacím vedení nižší, což přináší mimo jiné výhody i ve snižování hmotnosti, menším objemu a v nižších výrobních nákladech. Nevýhodou jsou vysoké náklady na izolaci. Motory jsou silně přetížitelné.

Pro trvalý výkon po dobu 1 hodiny je přetížitelnost 20 % nad trvalým výkonem. Krátkodobě při rozjezdu je přetížitelnost až 100 %. Hraniční otáčky jsou omezeny asi na otáčky  $7000 \text{ min}^{-1}$ . Všeobecně je tedy zapotřebí vícestupňová převodovka.

### **c) Stejnosemřný motor s derivačním buzením**

Obvod kotvy i budícího vinutí je připojen ke zdroji paralelně přes samostatné regulační prvky. Lze je snadno a plynule regulovat, ale v menším rozsahu než stejnosemřný elektromotor s cizím buzením. Mají tvrdou momentovou charakteristiku a jednoduše se brzdí.

### **d) Stejnosemřný motor se smíšeným buzením**

Jedno budící vinutí je zapojeno v sérii a druhé paralelně ke kotvě. Sériové vinutí je zapojeno magneticky souhlasně s derivačním vinutím a při zatížení motoru způsobuje snížení otáček a zvětšení momentu. Derivační vinutí naopak omezuje otáčky naprázdno. Tento motor tvoří přechod mezi sériovým a derivačním elektromotorem, podle toho, které buzení převládá.

## **2.6.2 Střídavé elektromotory**

### **a) Asynchronní motor**

Podstatná výhoda tří-fázového asynchronního motoru je v tom, že odpadá vinutí kotvy a kolektor, čímž lze dosáhnout otáčky až  $20000 \text{ min}^{-1}$ . Oproti stejnosemřnému motoru je asynchronní motor při stejném výkonu podstatně menší a lehčí, proto lze počítat s výkonovou hmotností asi  $1 \text{ kg/kW}$ . Kromě toho je asynchronní motor jednodušší konstrukce, robustní, bezúdržbový a silně přetížitelný. Jistá nevýhoda spočívá v nákladech na elektronickou regulaci. Stejnosemřný proud z akumulátorů je nutno přeměnit na střídavý. Obvykle se toho dosahuje cyklickým zapínáním tyristoru, přitom se pravouhlý průběh mění přibližně na sinusový. K regulaci tahové síly a otáček motoru musí být proměnná frekvence i napětí. Ke splnění regulačních požadavků vyžaduje vysoké náklady na výkonový obvod. Zpětné získání energie při brzdění je možno realizovat s vysokou účinností. Pohon silového pole vede k velmi dobrému využití instalovaného výkonu v celé hnací charakteristice vozidla.

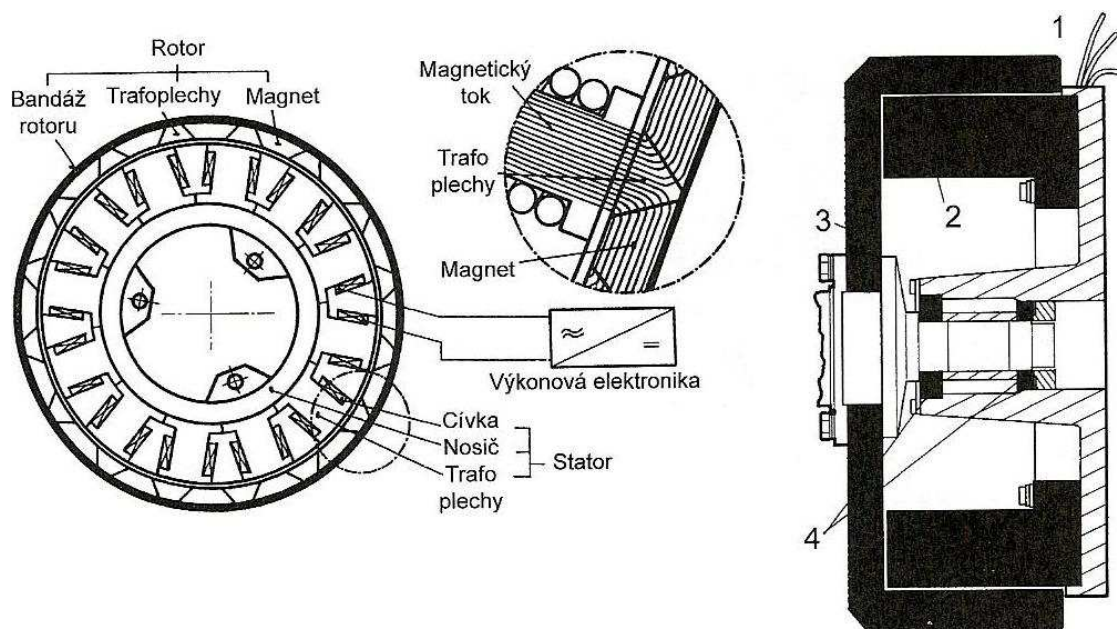


## b) Synchronní elektromotor s permanentními magnety

Tato varianta pohonu umožňuje velmi malý zastavěný objem motoru. Magnetické pole vybuzené permanentními magnety je bezdrátové. To vede k vysoké účinnosti. U tohoto motoru není pohon zeslabením pole možný. Proto musí být použito vícenásobného regulátoru výkonu akumulátorů nebo vícestupňové převodovky.

### 2.6.3 Magnetický elektromotor

Příkladem je elektromotor permanentní magnet – motor (obr. 27) s vynikajícími elektrickými parametry při malé hmotnosti a rozměrech. U tohoto motoru si rotor a stator vymění svá místa. Stator, který je složen z lisovaných elektroplechů se nachází uvnitř, a tvoří vysokopólové nosiče cívek. Cívky jsou spojeny s výstupem výkonové elektroniky, která proudy do statorového vinutí komutuje tak, že se motor chová jako stejnosměrný motor s cizím buzením. Je to tzv. elektronická komutace. Regulace je jednoduchá a dokonalá v celém rozsahu otáček. Vzhledem až k desetinásobku zvětšení výkonu oproti konvenčnímu provedení elektromotoru je statorové vinutí chlazeno kapalinou. Dále je motor až čtyřikrát lehčí než u konvenčního provedení a je menší.



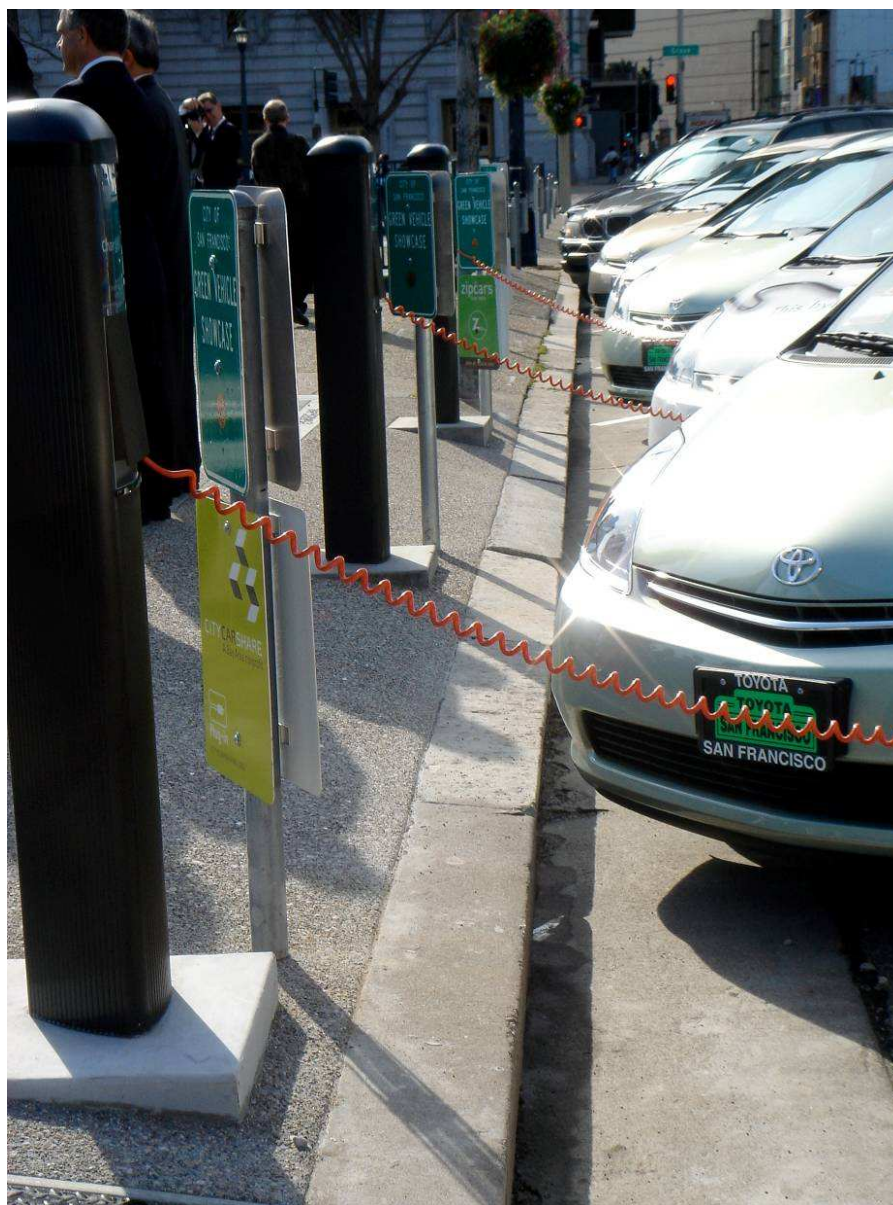
Obr. 27 Schéma a řez magnetickým elektromotorem [3]

(1 – vodiče, 2 – stator, 3 – rotor, 4 – ložiska)

### 3. ZHODNOCENÍ MOŽNÝCH VARIANT

#### 3.1 VOLBA OPTIMÁLNÍ CELKOVÉ KONCEPCE POHONU

U kupémobilu je uvažován hybridní pohon s možností čistě elektrického pojezdu na vzdálenost cca 50 km, protože větší vzdálenosti jsou překonávány ve vlacích ComplexTrans, kde je možno akumulátory energie dobíjet. Dalšími možnostmi je dobíjení doma z elektrické zásuvky nebo z parkovacích dobíjecích stojanů (obr. 28), jak je již dnes běžné v některých zemích, např. USA nebo Kanadě. Další eventualitou je rychlá výměna akumulátorů v nabíjecí stanici.



**Obr. 28 Speciální parkoviště pro hybridní automobily a elektromobily s dobíjecími stojany**



Dobíjení akumulátorů během jízdy vozidla má sloužit pro eventuelní dálkové jízdy tam, kde nejezdí vlaky ComplexTrans. Optimálním zdrojem energie ve vozidle by se měl dojezd navýšit na minimálně 500 km.

### **3.1.1 Dílčí závěr**

Vzhledem k výše uvedeným skutečnostem volím pro kupémobil sériový hybridní pohon, který většinu času funguje jako čistě elektrický pohon klasického elektromobilu a energii si vyrábí sám, pouze když je využíván k mimoměstskému provozu na větší vzdálenost.

## **3.2 VOLBA OPTIMÁLNÍHO ZDROJE ENERGIE**

Palivové články pro využití v hybridních vozidlech jsou zatím ve stádiu vývoje a zkoušení a nejsou žádné větší zkušenosti s každodenním provozem. Dalšími zásadními problémy jsou zatím nedostatečná infrastruktura čerpacích stanic vodíku, jeho zatím dost vysoká cena způsobená náročností technologie výroby a náročnost jeho bezpečného uskladnění ve vozidle.

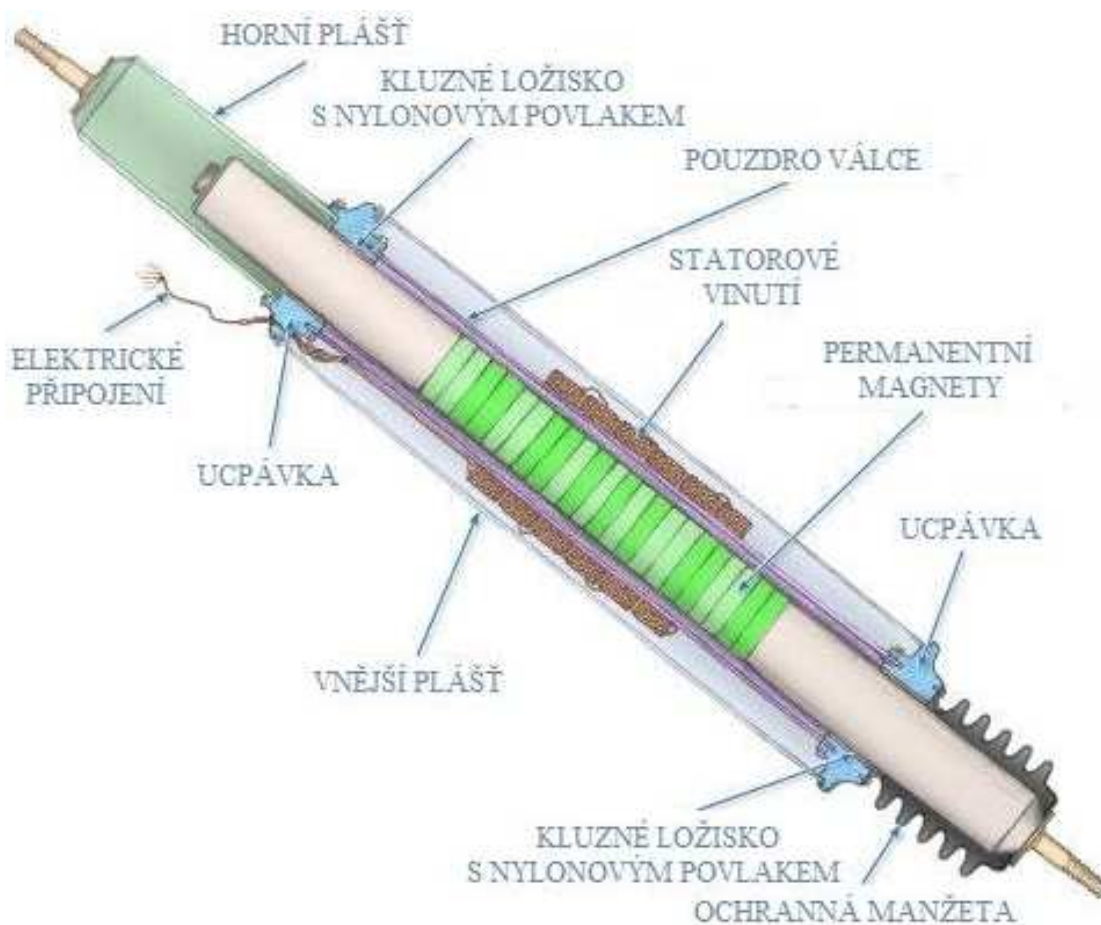
Agregát bude v kupémobilu sloužit pouze k výrobě elektrické energie a nebude mezi ním a hnacími koly žádná mechanická vazba, proto je varianta s konvenčním pístovým spalovacím motorem, doplněným generátorem elektrické energie sice použitelná, ale rozhodně ne nejvhodnější.

Ideálním zdrojem elektrické energie pro kupémobil se zdá být lineární spalovací motor – generátor. Jeho hlavními výhodami jsou dostatečný výkon při relativně malých stavebních rozměrech, jednodušší a účinnější přeměna energie spalování na elektrickou a to, že pracuje pouze ve svém optimálním režimu, což úzce souvisí se snížením spotřeby paliva, množství produkovaných emisí škodlivin a hlučnosti.

Dalšími doplňkovými zdroji elektrické energie mohou být např. fotovoltaické panely, umístěné na střeše vozidla (obr. 29), systém rekuperace kinetické energie při brzdění nebo speciální tlumiče (obr. 30), které kinetickou energii kmitů nepřeměňují na teplo jako konvenční hydraulické tlumiče, ale na elektrickou energii.



Obr. 29 Příklad použití solárních panelů u vozidla Fiat Phylla



Obr. 30 Schéma konstrukce tlumič-generátoru

### 3.2.1 Dílčí závěr

Vzhledem k výše uvedeným skutečnostem volím jako zdroj elektrické energie pro kupémobil lineární spalovací motor-generátor. Bohužel je tento agregát zatím ve stadiu vývoje a testování funkčního modelu a z dostupných informací není zřejmé, kdy bude připraven plně funkční prototyp pro zavedení do sériové výroby.

Právě proto jako alternativní možnost pro případné projektové řešení volím konvenční spalovací motor s generátorem elektrické energie.

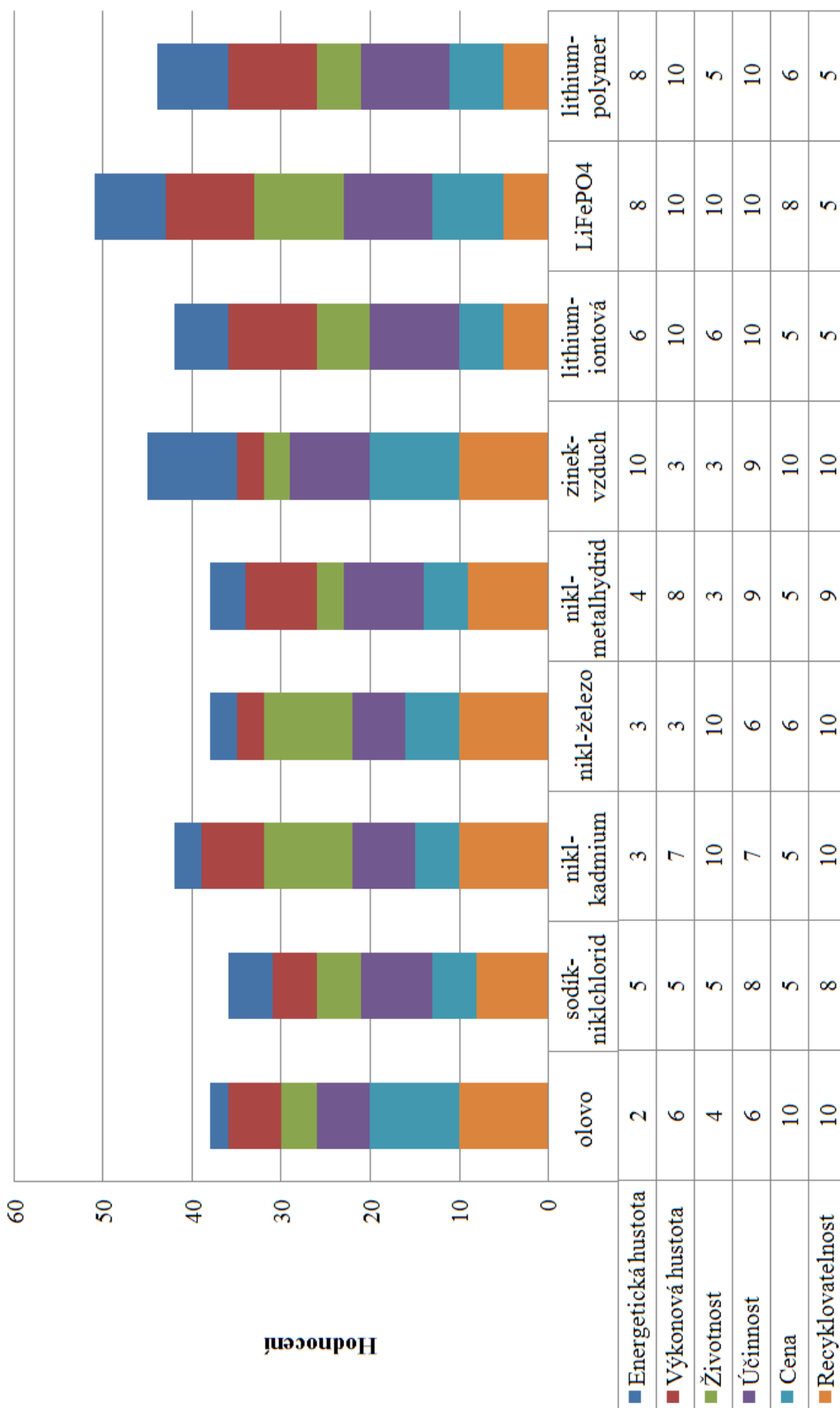
Jako doplňkový zdroj energie bude využita rekuperace kinetické energie při brzdění vozidla.

### 3.3 VOLBA OPTIMÁLNÍHO ZÁSOBNÍKU ENERGIE

Jak vyplývá z tabulky na obr. 31 a porovnání na obr. 32, jsou v tuto chvíli optimálními trakčními bateriemi lithium-iontové akumulátory nové generace na bázi  $\text{LiFePO}_4$ , které mají vysokou energetickou i výkonovou hustotu při velkém počtu nabíjecích cyklů, pracují ve velkém rozsahu teplot, jsou netoxické, bezpečné a nemají sklon k tzv. paměťovému efektu.

Typ baterie	Energetická hustota	Výkonová hustota	Životnost
	Wh/kg	W/kg	cyklů
olovo	38	190	800
sodík-niklchlorid	90	155	900
nikl-kadmium	57	200	2000
nikl-železo	55	100	2000
nikl-metalhydrid	70	250	600
zinek-vzduch	200	90	600
lithium-iontová	120	300	1200
$\text{LiFePO}_4$	150	300	2000
lithium-polymer	150	300	1000

Obr. 31 Vybrané parametry akumulátorů



Obr. 32 Porovnání parametrů akumulátorů (nejlepší = 10)

Superkondenzátory vynikají zejména svou vysokou výkonovou hustotou a velkou rychlostí nabíjení. Naproti tomu mají velmi nízkou energetickou hustotu, proto jsou vhodné zejména ke krytí špičkového zatížení, např. při rozjezdu nebo předjíždění. Protože jedním z hlavních požadavků na kupémobil je čistě elektrický dojezd na cca 50 km, byl by superkondenzátor vhodný pouze jako doplňkový akumulátor energie právě pro krytí výkonových špiček.

### 3.3.1 Dílčí závěr

Vzhledem k výše uvedeným skutečnostem volím jako zásobník elektrické energie kupémobilu lithium-iontové akumulátory na bázi  $\text{LiFePO}_4$  doplněné blokem superkondenzátorů pro krátkodobé zvýšení požadovaného výkonu.

## 3.4 VOLBA OPTIMÁLNÍCH TRAKČNÍCH ELEKTROMOTORŮ

Otázkou volby optimálních trakčních elektromotorů není pouze jejich konstrukce, ale také jejich počet a umístění. Při použití jednoho trakčního elektromotoru není třeba žádná převodovka. Při použití dvou motorů dokonce odpadá i diferenciál, jelikož mezi levým a pravým kolem není mechanická vazba. Nabízí se i možnost použití čtyř menších motorů umístěných přímo u kol, čímž lze získat plnohodnotnou čtyřkolku, bez nutnosti použití složitých mezinápravových diferenciálů. Další možností je umístění trakčního elektromotoru přímo do kola (obr. 33). Získáme tak například další prostor pro posádku a zavazadla, snížíme ztráty apod. Na druhou stranu však například výrazně zvýšíme hmotnost neodpružených částí vozidla, což má zásadní vliv na životnost součástí podvozku a jízdní pohodlí.

Protože se v konstrukci kupémobilu počítá s tím, že obě nápravy budou výsuvné a bude tedy možnost změny jejich rozvoru, jeví se jako výhodnější použití dvou nebo čtyř trakčních elektromotorů umístěných přímo v kolech.

Trakční elektromotory musí být spolehlivé a ve velkém rozsahu otáček musí být k dispozici dostatečný výkon. Důležité jsou kompaktní rozměry, vysoká účinnost při malé hmotnosti, krátkodobá přetížitelnost, nízká hladina hluku, nízké udržovací náklady a výhodná cena.

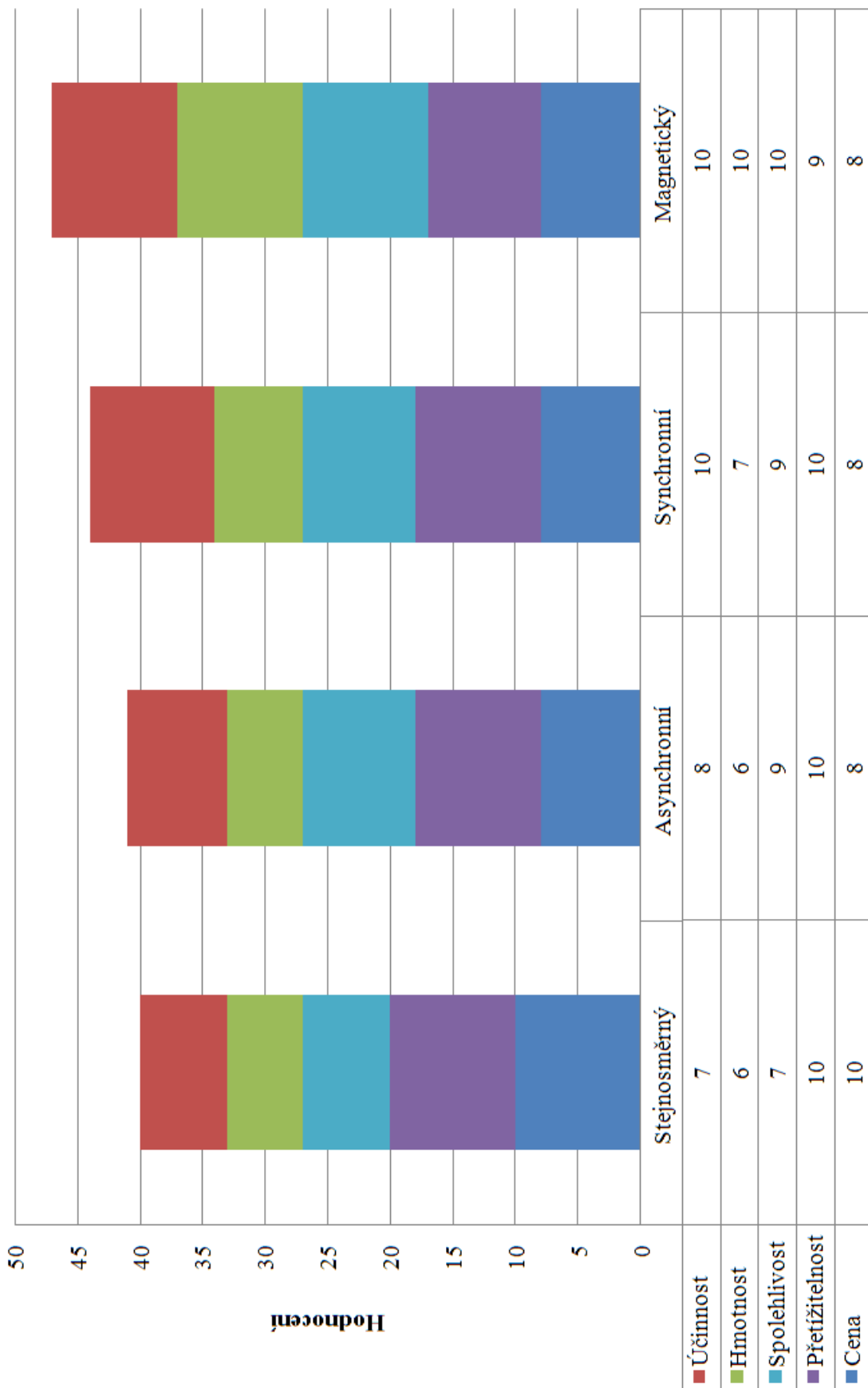


**Obr. 33 Příklad umístění trakčního elektromotoru přímo v kole  
(Michelin Active Wheel) [6]**

Jak je patrné z výsledků výzkumu VDA (Verband der Automobilindustrie) [3] znázorněných na obr. 34, můžeme za optimální trakční motor považovat magnetický elektromotor, který vyniká ve většině porovnávaných parametrech. Dále se vyznačuje jednoduchou regulací v celém rozsahu otáček, menší stavbou a až čtyřikrát nižší hmotností než je běžné u konvenčních elektromotorů podobných výkonových parametrů.

### 3.4.1 Dílčí závěr

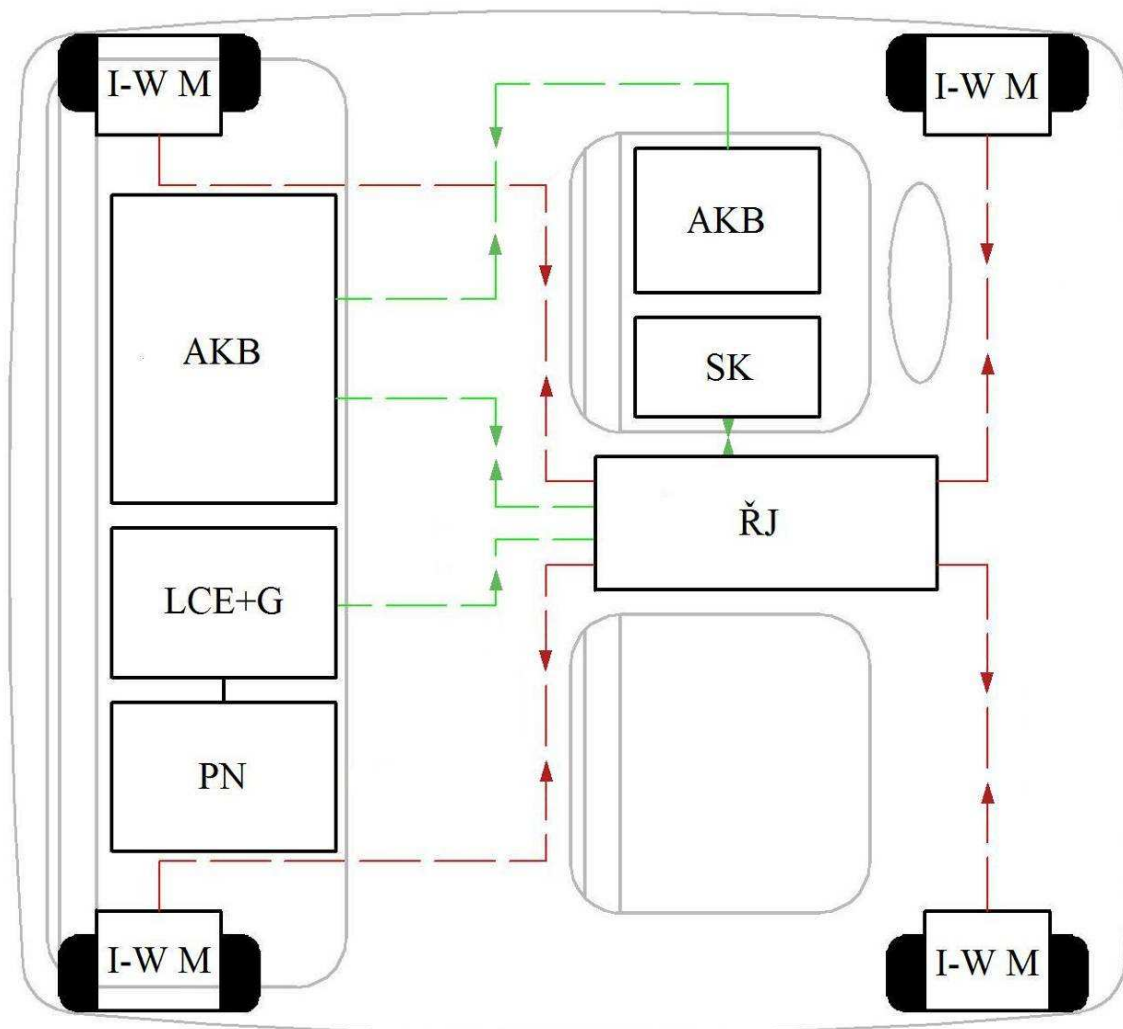
Vzhledem k výše uvedeným skutečnostem volím pohon kompaktními trakčními elektromotory s permanentními magnety integrovanými do všech čtyř kol, čímž dojde k výhodnějšímu rozložení hmotnosti hnacího aparátu a snížení hmotnosti neodpružených hmot podvozku oproti pohonu pouze dvěma koly.



Obr. 34 Porovnání parametrů trakčních elektromotorů (nejlepší = 10)

## 4. IDEOVÝ NÁVRH

V předchozí kapitole byla zvolena sériová koncepce hybridního pohonu, která bude pro výrobu elektrické energie využívat lineární spalovací motor-generátor. K ukládání energie bude kupémobil osazen lithium-iontovými akumulátory na bázi  $\text{LiFePO}_4$  doplněnými blokem superkondenzátorů pro krátkodobé zvýšení požadovaného výkonu. K vyvození trakční síly bude použito kompaktních elektromotorů, které budou integrovány přímo do všech čtyř kol. Funkci celého pohonného systému bude ovládat výkonná řídicí jednotka.



**Obr. 35 Schéma ideového návrhu hybridního pohonu kupémobilu**

(LCE+G – lineární spalovací motor-generátor, PN – palivová nádrž,  
I-W M – elektromotor integrovaný v kole, ŘJ – řídicí jednotka,  
AKB – akumulátory, SK – blok superkondenzátorů)



## 4.1 POPIS ZÁKLADNÍCH ČÁSTÍ POHONU

### a) Lineární spalovací motor-generátor

Lineární spalovací motor vůbec není mechanicky spojen s koly, ale za pomoci generátoru pouze dodává elektrickou energii do palubní sítě. K samotnému pohonu se pak používají trakční motory integrované v kolech. Velkou výhodou je, že spalovací motor pracuje pouze ve svém optimálním režimu a startuje se pouze pokud je nedostatek energie v akumulátorech.

Lineární spalovací motor je ve vozidle umístěn pod zadními sedadly.

### b) Palivová nádrž

Palivová nádrž slouží jako zásobník paliva pro lineární spalovací motor. Její objem musí být dostatečný, aby pokryla spotřebu paliva na cca 500 km.

Palivová nádrž je ve vozidle také umístěna pod zadními sedadly.

### c) Motory v kolech

Do kola není integrován pouze brzdový systém, jak je tomu u konvenčních automobilů, ale také trakční elektromotor a systém odpružení s elektrickými tlumiči. Použitím této technologie u kupémobilu odpadá nutnost převodové skříně, spojky, spojovacích hřídelů, diferenciálů a také tlumičů pérování.

Integrovaním systému odpružení s elektrickým tlumením přímo do kol se výrazně zvýší komfort jízdy a sníží vliv hmotnosti neodpružených hmot, který značně snižuje životnost celého podvozku.

Další funkcí tohoto kola je rekuperace kinetické energie při brzdění. Takto získaná elektrická energie nejprve dobije superkondenzátor a zbytek energie se využije pro dobíjení akumulátorů.

Z důvodu minimalizace rozměrů je potřebný výkon rozdělen do čtyř kompaktnějších mechanismů umístěných na všech čtyřech kolech.

Tyto kola není třeba samostatně vyvíjet, protože firma Michelin již vyrábí Active Wheel, který je v současnosti montován do elektromobilů. Další možností je výrobek E-Corner firmy Siemens, který je ovšem zatím pouze testován a do seriové výroby by se měl dostat až po roce 2010.

#### **d) Řídící jednotka**

Řídící jednotka je mozkiem celého pohonného systému. Ovládá veškeré toky akumulované energie, spouští lineární motor při poklesu kapacity akumulátorů, řídí distribuci rekuperované brzdové energie atd.

#### **e) Akumulátory**

Akumulátory jsou lithium-iontové postavené na lithium-železofosfátu ( $\text{LiFePO}_4$ ). Jejich kapacita je dostatečná pro čistě elektrický dojezd na cca 50 km. Články jsou vzájemně propojeny sériově-paralelně.

Pro umístění akumulátorů je využit zbytek prostoru pod zadním sedadlem a také pod sedačkou řidiče.

#### **f) Blok superkondenzátorů**

Blok superkondenzátorů slouží jako malý, ale výkonný zásobník energie "cache" před baterií. Jeho úkolem je krytí výkonových špiček. Ukládá se do něj energie z počátku brzdění, která je pak použita při počátečním rozjezdu nebo při předjíždění.

Tento blok je ve vozidle umístěn pod sedačkou řidiče.

## 5. EKONOMICKÝ ROZBOR

Zásadním problémem řešení každého technického projektu jsou ekonomické aspekty, které ovlivní celý proces vývoje od ideového návrhu až k funkčnímu prototypu. Proto bude v této kapitole provedena kalkulace nákladů na sestavení funkčního prototypu kupémobilu se zaměřením na jednotlivé části hybridní pohonné jednotky.

Vzhledem k tomu, že některé komponenty jsou stále ve stádiu vývoje nebo je jejich hodnota z dostupných informačních zdrojů nezjistitelná, bude jejich cena odvozena od podobných výrobků nebo odhadnuta s využitím znalostí a zkušeností získaných při zpracovávání práce.

Pro lepší věrohodnost ekonomického rozboru je třeba odhadnout optimální výkon pohonné hybridní jednotky. Ze své zkušenosti volím jako dostatečný výkon 30 kW, který může být krátkodobě navýšen přetížením trakčních elektromotorů s využitím energie akumulované v superkondenzátorech.

### a) Prototyp kupémobilu

Abychom mohli vyrobit prototyp pohonné jednotky, je třeba nejprve vyrobit prototyp vozidla, do kterého ji posléze osadíme. Náklady na vývoj prototypu kupémobilu s výsuvnými nápravami bez pohonné jednotky odhaduji na cca 2 miliony Kč.

### b) Lineární spalovací motor-generátor

V současné době je ve stádiu vývoje a testování, proto se jeho cena nedá zjistit přímo. Může ale být pouze odvozena od konvenčního spalovacího motoru podobných výkonových parametrů. Zážehový motor 1,2 HTP 44 kW, osazovaný do automobilů Škoda Fabia II, stojí cca 40 tisíc Kč. Uvažujeme-li, že cena vyvíjeného lineárního spalovacího motoru bude cca 3 až 5 krát vyšší, dostáváme cenové rozpětí 120 – 200 tisíc Kč.

### **c) Motory v kolech**

U kol Michelin Active Wheel není možno z dostupných informací zjistit jejich cenu, proto musí být také odvozena od běžně prodávaných modelů. Ty ovšem neobsahují systém odpružení s elektrickým tlumením, který model Michelin Active Wheel jistě značně prodraží. Například motor PMG-132 s výkonem 7,22 kW při napětí 72 V stojí v e-shopu electricmotorsport.com 1395 \$ (cca 25 tisíc Kč). Uvažujeme-li, že cena kola Michelin Active Wheel bude cca 2 krát vyšší, dostáváme se při čtyřech kolech na částku cca 200 tisíc Kč.

### **d) Řídící elektronika**

Do této části je potřeba započítat náklady vynaložené za elektroniku řízení lineárního spalovacího motor-generátoru, elektroniku ovládání trakčních motorů, elektroniku řídicí dobíjení akumulátorů a také veškeré ovladače, snímače a kabeláž. Cenu nelze odvodit podle žádné podobnosti v dostupných informačních pramenech, proto je ji třeba odhadnout s využitím vlastních odborných znalostí a zkušeností. Můj odhad činí částku 100 – 150 tisíc Kč.

### **e) Akumulátory**

Podle informací uvedených v [3] je průměrná spotřeba elektrické energie v městském provozu u elektromobilů podobných rozměrů cca 0,25 kWh/km. Při požadovaném čistě elektrickém dojezdu na 50 km je tedy třeba, aby akumulátory pokryly spotřebu cca 12,5 kWh, čemuž odpovídá 44 ks článků o napětí 3,25 V a kapacitě 90 Ah zapojených serio-paralelně do sítě o napětí 72 V. Tyto články se ve výše jmenovaném e-shopu prodávají kus za 180 \$, což znamená celkem 7920 \$ (cca 140 tisíc Kč).

### **f) Superkondenzátory**

Pro krytí výkonových špiček by postačil sériově vyráběný blok superkondenzátorů s jmenovitým napětím 75,6 V od firmy Maxwell. U nás je distribuován firmou ECOM s.r.o. a stojí cca 60 tisíc Kč.

<b>Komponenta</b>	<b>Způsob vyčíslení ceny</b>	<b>Cena</b>
Prototyp kupémobilu	odhad	2 000 000 Kč
Lineární spalovací motor-generátor	odvození	120 - 200 000 Kč
Motory v kolech	odvození	200 000 Kč
Řídící elektronika	odhad	100 - 150 000 Kč
Akumulátory	ceník	140 000 Kč
Superkondenzátory	ceník	60 000 Kč
<b>Celková cena</b>		<b>cca do 2 750 000 Kč</b>

**Obr. 36 Ekonomický rozbor nákladů na stavbu prototypu kupémobilu**

Jak je patrné z tabulky na obr. 36, náklady na stavbu funkčního prototypu kupémobilu byly odhadnuty na téměř 3 miliony Kč. Reálná cena se samozřejmě může lišit a časem dost výrazně měnit, protože je předpoklad, že ceny veškerých komponent budou klesat úměrně s masovostí jejich využívání v sériově vyráběných dopravních prostředcích.

## 6. NÁVRH A DOPORUČENÍ PRO DALŠÍ POSTUP ŘEŠENÍ

Při dalším řešení je potřeba určit výkon hybridní jednotky v závislosti na požadované maximální rychlosti vozidla tj. 130 km/h. Přitom je třeba usilovat o co nejvyšší výkon v rozměrech omezených rozmístěním jednotlivých komponent pohonu a požadovanými rozměry kupémobilu.

Dále je třeba vyřešit prostorově úsporný mechanismus zadních výsuvných náprav s maximalizací prostoru pro pohonnou jednotku a zásobníky energie.

U lineárního spalovacího motor-generátoru je třeba navrhnout optimální palivo, např. benzín nebo zemní plyn, a v závislosti na tom a výkonových parametrech navrhnout adekvátní objem palivové nádrže.

Také je třeba sledovat technický vývoj zásobníků energie, který běží vpřed obrovskou rychlostí. Lithium-iontové akumulátory na bázi lithium-železofosfátu ( $\text{LiFePO}_4$ ), mohou být již brzy překonány bateriemi na bázi železo-železofosfátu, které mají stejné výkonové a kapacitní parametry při několikanásobně nižší ceně. V současné době do jejich vývoje investuje čínská firma, která se původně specializovala na výrobu baterií do mobilních telefonů. Další možností jsou superkondenzátory nové generace, které by se svou kapacitou měly v budoucnu přiblížit akumulátorům a v konceptu hybridního pohonu kupémobilu akumulátory zcela nahradit.

## 7. ZÁVĚR

V současné době převládá silniční doprava osob i materiálu nad železniční. Úkolem kombinovaného dopravního systému Complextrans je vyzdvihnout výhody a minimalizovat nevýhody obou současných možností pozemní dopravy. Koordinovaný vývoj silničních a železničních dopravních prostředků a současně změna tvaru a funkce automobilů mohou přinést zcela nové možnosti kombinované dopravy, snížení přepravní hustoty ve městech i mezi městy, vzrůst počtu parkovacích míst, snížení spotřeby energie, významné snížení závislosti na ropě, možnost snížení produkce výfukových plynů, možnost zapojení automobilů do hromadné dopravy i řadu dalších možností.

Vývoj kupémobilu jako stěžejního dopravního prostředku systému Complextrans je jedním ze základních úkolů případného zavádění systému Complextrans do praxe. Jeho pohonná jednotka musí splňovat určité požadavky (např. maximální rychlost, akční rádius) při minimalizaci rozměrů, spotřeby paliva i emisí škodlivin do ovzduší.

Navržený systém pohonu vyniká především svým čistě elektrickým dojezdem na cca 50 km, což je dostatečné pro běžné cestování ve městě nebo cestu z přilehlého satelitního městečka do zaměstnání nebo k terminálu Complextrans. Tím, že bude kupémobil většinu času pracovat jako elektromobil bez nutnosti startování dobíjecího agregátu, se výrazně sníží spotřeba paliva a emise výfukových plynů.

Další nespornou výhodou je použití kol s integrovanými trakčními elektromotory a pružícími jednotkami. Tím významně klesne náročnost návrhu mechanismu vysunování náprav.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Hofman, J.: Výchozí zadání projektu ComplexTrans.
- [2] Hofman, J.: ComplexTrans – Smíšený pozemní dopravní systém pro individuální i hromadnou městskou i meziměstskou přepravu osob a nákladu. Prezentace pro mezinárodní konferenci PRORAIL 2007.
- [3] Kameš, J.: Alternativní pohony automobilů. BEN – technická literatura, Praha 2008.
- [4] Vysoký, O.: Lineární spalovací motorgenerátor a jeho. Úvodní zpráva o projektu ČVUT – FEL, Praha 2000.
- [5] Vlk, F.: Alternativní pohony motorových vozidel. Vlastním nákladem, Brno 2004.
- [6] Michelin Active Wheel. Tiskový balíček, Paříž 2008.
- [7] Vlk, F.: Automobilová technická příručka. Vlastním nákladem, Brno 2003.
- [8] Vlk, F.: Koncepce motorových vozidel. Vlastním nákladem, Brno 2000.

### Internetové stránky

<http://www.fd.cvut.cz/projects/k620x1c/index.html>

<http://www.hybrid.cz/>

<http://vodik.czweb.org/>

<http://klub.elektromobily.org/>

<http://www.lceproject.org/>

<http://www.electricmotorsport.com>

<http://www.ecom.cz>



## SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1 Kupémobil
- Obr. 2 Minimobil
- Obr. 3 Nákladní přepravní modul
- Obr. 4 Osobní přepravní modul
- Obr. 5 Dvoupatrový železniční vůz pro dopravu osob a zboží
- Obr. 7 Informační a rezervační systém
- Obr. 8 Kupémobil – pohledy
- Obr. 9 Sériové uspořádání hybridního pohonu
- Obr. 10 Paralelní uspořádání hybridního pohonu
- Obr. 11 Smíšené uspořádání hybridního pohonu
- Obr. 12 Příklad použití spalovacího motoru s generátorem u sériového uspořádání hybridního pohonu
- Obr. 13 Princip lineárního spalovacího motor-generátoru
- Obr. 14 Příklad použití lineárního spalovacího motor-generátoru u sériového uspořádání hybridního pohonu
- Obr. 15 Schéma palivového článku
- Obr. 16 Schéma alkalického článku
- Obr. 17 Schéma článku s tuhými polymery – teflonová membrána
- Obr. 18 Schéma článku s kyselinou fosforečnou
- Obr. 19 Schéma článku s roztavenými uhličitany
- Obr. 20 Schéma článku s tuhými oxidy
- Obr. 21 Olověný akumulátor
- Obr. 22 Akumulátor sodík-niklchlorid
- Obr. 23 Akumulátor nikl-kadmium
- Obr. 24 Akumulátor nikl-metalhydrid
- Obr. 25 Lithium-iontový akumulátor nové generace ( $\text{LiFePO}_4$ )
- Obr. 26 Struktura superkondenzátoru
- Obr. 27 Schéma a řez magnetickým elektromotorem
- Obr. 28 Speciální parkoviště pro hybridní automobily a elektromobily s dobíjecími stojany
- Obr. 29 Příklad použití solárních panelů u vozidla Fiat Phylla
- Obr. 30 Schéma konstrukce tlumič-generátoru

- Obr. 31 Vybrané parametry akumulátorů
- Obr. 32 Porovnání parametrů akumulátorů
- Obr. 33 Příklad umístění trakčního elektromotoru přímo v kole  
(Michelin Active Wheel)
- Obr. 34 Porovnání parametrů trakčních elektromotorů
- Obr. 35 Schéma ideového návrhu hybridního pohonu kupémobilu
- Obr. 36 Ekonomický rozbor nákladů na stavbu prototypu kupémobilu