

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

**HYBRIDNÍ POHONY AUTOBUSŮ A JEJICH TECHNICKO-
EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ**

Lukáš Kotyk

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2010

Souhrn:

Práce se zabývá autobusy s hybridním pohonem. V práci je vysvětlen princip hybridních pohonů a jejich druhy. Stejně tak došlo k porovnání typů hybridních autobusů. Na závěr se zabývá srovnáním cen autobusů.

Klíčová slova:

Hybridní pohony, sériový hybridní pohon, paralelní hybridní pohon, Emise, Hybridní autobusy, TriHyBus

Title:

Hybrid drives buses and their technical-economic evaluation

Abstract:

Work deals with hybrid buses. There is explained the principle of hybrid drives and their types. Also the comparison of types of hybrid buses. In conclusion focuses on the comparison of prices of buses.

Keywords:

Hybrid drives, serial hybrid powertrain, parallel hybrid powertrain, emissions, hybrid buses, TriHyBus

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 ze 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 jiného 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 27.5.2010

Kotyk Lukáš

Obsah:

1.0	Důvody pro použití hybridních pohonů u autobusů	10
1.1	Co znamená pojem „hybridní pohon“?	10
1.2	Důvody pro použití hybridních pohonů	10
2.0	Vývoj emisních předpisů EHK a norem pro vozidla kategorie M2, M3, N2, N3	13
2.1	Nebezpečné emise	16
3.0	Přehled typů hybridních pohonů používaných u autobusů	18
3.1	Hybridní autobusy dle koncepce pohonu	18
3.1.1	Paralelní koncepce	18
3.1.2	Sériová koncepce	20
3.2	Autobusy s palivovými články	21
3.3	Akumulátory pro hybridní autobusy	22
3.3.1	Požadavky na akumulátory	23
3.3.2	Druhy baterií	23
3.4	Superkapacitor	24
4.0	Přehled typů autobusů s hybridním pohonem a jejich technické parametry	25
4.1	Volvo 7700 Hybrid	25
4.2	Scania	27
4.3	Solaris Urbino 18 Hybrid	29
4.4	Mercedes-Benz Citaro FuelCELL Hybrid	32
4.5	GM-Allison	33
4.6	Orion VII	34
4.7	Eletra bus	35
4.8	FCHV-BUS2	36
4.9	TriHyBus	37
4.9.1	Hybridní pohon	38

4.9.2	Vizualizace provozních dat	40
4.9.3	Způsob financování	42
4.9.4	První vodíková čerpací stanice v České republice	44
5.0	Ekonomické srovnání autobusů s hybridním pohonem, s pohonem na CNG a s klasickým pohonem	46
5.1	Pořizovací náklady	46
5.2	Náklady na pohonné hmoty	47
5.3	CNG vs klasický konvenční pohon	48
5.4	Možnosti státních dotací na koupi a vývoj autobusů	49
5.4.1	Státní program: Podpora obnovy vozidel veřejné autobusové dopravy	49
5.4.2	Základní podmínky pro poskytnutí podpory	52
5.5	Ekonomické zhodnocení investičních nákladů u autobusů	54
	Závěr	57
	Seznam použité literatury	58
	Seznam obrázků	59
	Seznam tabulek	60
	Seznam grafů	60

1.0 Důvody pro použití hybridních pohonů u autobusů

1.1 Co znamená pojem „hybridní pohon“?

Slovním spojením „hybridní pohon“ se rozumí pohon, který využívá kombinace několika zdrojů energie pro pohon jednoho dopravního prostředku. Může se jednat o různé kombinace, přičemž nejrozšířenější koncepcí je kombinace spalovací motor + elektromotor + akumulátor.

Druhy hybridních pohonů:

- spalovací motor + elektromotor + akumulátor
- spalovací motor + elektromotor + externí přívod elektrické energie (trolej)
- spalovací motor + setrvačnick
- elektromotory + diesel
- plynová turbína + generátor + akumulátor + elektromotor
- elektromotor + nožní pohon

1.2 Důvody pro použití hybridních pohonů

Největším důvodem pro zavádění hybridních pohonů do autobusů je nízká účinnost spalovacích motorů. Účinnost dnešních spalovacích motorů se pohybuje přibližně mezi 30 až 40%. Zážehové (benzínové) motory mají obecně účinnost spíše nižší, vznětové (dieselové) motory jsou na tom o trochu lépe. Hodnota účinnosti spalovacích motorů je však z větší části dána účinností samotného termodynamického cyklu, ten má jasná fyzikální omezení. V budoucnosti se tedy nedá očekávat výraznější vylepšení účinnosti klasických spalovacích motorů.

Další potíž je v tom, že této účinnosti spalovací motor dosáhne jen v optimálních podmínkách. Samozřejmě při běžném provozu se optimálních podmínek dosáhne pouze výjimečně a to znamená, že celková účinnost je ještě o něco nižší. Extrémním případem je běh motoru na volnoběh. Motor spotřebovává palivo, ale přitom automobil nekoná žádnou práci, protože stojí na místě. Navíc je spalovací motor schopen uspokojivě pracovat pouze v poměrně úzkém pásmu otáček. To je také důvod, proč automobil se spalovacím motorem potřebuje převodovku.

Použití převodovky ovšem přináší další nezanedbatelné ztráty, ostatně jako každý mechanický převod. Navíc má většinou jen omezený počet rychlostních stupňů a to je dalším důvodem, proč nemůže motor pracovat v optimálních podmínkách (samozřejmě existují i převodovky s plynulou změnou převodového poměru, ty ale mají zase o něco horší účinnost). Naproti tomu současné elektromotory mají účinnost kolem 95%. Navíc této vysoké účinnosti dosahují v širokém rozsahu otáček a zatížení. Jeví se tedy jako ideální řešení konstrukce elektromobilu. Avšak jeho nevýhodou je příliš vysoká hmotnost potřebných akumulátorů. S tím souvisí i malý dojezd na jedno nabití baterií. Další komplikací samotného elektromotoru je i samotné obtížné a pomalé dobíjení baterií.

Hybridní pohon (HEV – Hybrid Electric Vehicle) umožňuje kombinaci obou výše uvedených typů pohonu, tedy spalovacího motoru a elektromotoru. U hybridního pohonu nemusí být spalovací motor mechanicky spojen s koly. Může tedy existovat pouze jako generátor elektrické energie. Spalovací motor tak může nerušeně pracovat ve svých optimálních otáčkách, pohánět elektromotory nebo dobíjet akumulátory. Stejný koncept je již léta používán u diesel-elektrických lokomotiv.

Výhodou uspořádání bez mechanického spojení elektromotoru s koly je, že není třeba žádná převodovka. Elektrické trakční motory jsou totiž schopné pracovat v širokém rozsahu otáček s vysokou účinností a dostatečným krouticím momentem již prakticky od nulových otáček. 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 a získat tak plnohodnotnou čtyřkolku, bez nutnosti používat složité mezinápravové diferenciály. Když uvážíme, že účinnost každého soukolí se šikmými zuby je 98%, účinnost ložiska 99,5%, pak je každé takové zjednodušení přínosné. Největší výhodou však zůstává ten fakt, že spalovací motor pracuje pouze ve svém optimálním režimu s

nejvyšší možnou účinností. Pokud je dost energie v akumulátorech, nebo dochází k deceleraci, motor se úplně vypíná.

Umístěním elektromotoru přímo do kola se zbavíme použití převodovky, rozvodovky. Získáme tak například další prostor pro cestující a zavazadla, snížíme ztráty apod. Na druhou stranu však například výrazně zvýšíme hmotnost neodpružených částí vozidla. To má vliv na životnost součástí podvozku a jízdní pohodlí. Dnešní koncepty hybridních pohonů stále ještě upřednostňují pevné spojení spalovacího motoru a kol. Elektromotor spíše jen vypomáhá v přechodových stavech, kdy je výhodné spalovací motor zhasnout, např. při popojíždění v zácpě nebo po městě. Hybridní pohon je relativně mladé a perspektivní odvětví vývoje, a proto existuje mnoho různých kombinací a variant. Velmi důležitým faktorem, že hybridní pohony díky své dobré účinnosti mají i dobré emise výfukových plynů. Jsou tedy považovány za dobrou ekologickou alternativu současných automobilů se spalovacím motorem. Jejich nevýhodou zůstává jen vyšší cena kvůli nové a komplikovanější technologii.

Výhody a nevýhody hybridních automobilů:

Výhody:

- Možnost využití více agregátů na jednu (př. zážehový motor + elektromotor)
- Jízda na čistě elektrickou energii zaručuje tichou jízdu s nulovými emisemi
- Nízká spotřeba paliva
- Nízké provozní náklady
- Využití rekuperace elektrické energie (např. při brzdění)
- Dotační příspěvek od státu na zakoupení ekologického autobusu

Nevýhody:

- Příliš velká hmotnost automobilu (baterie, přídatný pohon-př. elektromotor atd.)
- Velká prodejní cena autobusů s hybridním pohonem
- Nedostatek stanic pro dobíjení akumulátorů

2.0 Vývoj emisních předpisů EHK a norem pro vozidla kategorie M2, M3, N2, N3

Již od počátku automobilismu se vědělo, že při spalování benzínu či nafty produkují automobily látky, které přímo či nepřímo ovlivňují zdraví a životní prostředí. Obzvláště o vlivu výfukových plynů na zdraví obyvatel se ví již dlouhá léta. S přibývajícím vývojem a technickým pokrokem se lidstvo seznámilo i s faktem, že mimo přímý vliv na zdraví každého z nás je zde nezanedbatelný negativní vliv i na globální prostředí. Některé látky, které vychází z automobilů, např. narušují tenkou bariéru ozonové vrstvy. Právě tato zjištění přivedla některé státy k tomu, aby prosazovaly regulace množství emisí, které automobily při svém provozu produkují. A tímto byla odstartována etapa zavádění emisních limitů, které dnes známe pod zkratkami Euro X.

Vývoj ovšem pokračuje v jednotlivých částech světa různě a nezávisle na sobě. Spojené státy, mají své vlastní normy, které se ovšem stát od státu liší. Jedny z nejprísnejších emisních norem na světě má Kalifornie. Některé členské státy USA jdou tak daleko, že zakázaly např. prodej naftových automobilů na svém území. Protože však stojí vývoj ekologičtějších vozů velké peníze, nelze ze dne na den zavést velmi přísné limity, a tak se s postupem času vždy dostatečně dopředu oznámí, jaké budou hodnoty limitů v další etapě a kdy tato nová norma vstoupí v platnost. Automobilky se tak na tyto kroky mohou připravovat a většinou jim nečiní problémy těchto hodnot dosáhnout. Velmi často se pak automobilky chlubí, že nových norem dosáhly daleko v předstihu před jejich samotným zavedením.

Emisní normy však mají i svá negativa, dá-li se to tak říci. Často lze slyšet nářky řidičů z řad fandů aut, kde že jsou ty doby, kdy auta před deseti dvaceti lety dosahovala větších litrových výkonů a lepšího průběhu výkonu, než ta dnešní. A jedním z důvodů, proč se pak může zdát, že vývoj motorů nejde moc kupředu a výkony nerostou, jak by měly, jsou právě emisní limity, které dnešní motory musí plnit.

Emisní vlastnosti silničních vozidel kategorie M2, M3, N2 a N3:

M2, M3	ostatní vozidla pro přepravu osob (autobusy)
N2, N3	ostatní užitková vozidla

Tab. 1. Kategorie vozidel

Zjišťují se podle testu EHK 49: emisní test se provádí pouze s motorem (bez vozidla), který je připojen k dynamometru na zkušební motorů. Podle původního předpisu EHK 49 se emisní vlastnosti motorů zjišťují ve 13 ustálených provozních režimech (v původním testu byl 3x volnoběh), pro každý režim je předpisem stanovena váha (důležitost) a výsledek se vyjadřuje jako vážený průměr měrných emisí jednotlivých složek škodlivin v [g/kWh]. Postupné zpřísnování emisních limitů se v poslední době projevilo výraznou změnou předpisu EHK 49, která vychází z technické úrovně moderních technologií ve vybavení a řízení motorů i technologií z hlediska požadavků na nízkoemisní motory a nově obsahuje hodnocení emisních vlastností motoru i v přechodových režimech. Zkouška, která simuluje provoz motoru v dynamických provozních podmínkách (start, volnoběh, akcelerace, ustálený stav, decelerace), je známá jako TRANSIENT TEST a v modifikaci pro Evropu obsahuje 3 emisní testy:

1. *Test ESC*, který je složen ze 13 ustálených provozních režimů motoru a zjišťují se při něm všechny výfukové škodliviny.
2. *Test ELR*, sestává z přechodových stavů různých provozních režimů a ověřuje se při něm kouřivost motoru.
3. *Test ETC*, který je složen ze sekundových sekvencí přechodových režimů, simuluje dynamiku specifických provozních (neustálených) režimů motorů nákladních automobilů a autobusů; výfukové škodliviny jsou vyhodnoceny jako integrální za celý test (stejně jako mechanická práce motoru).

Emisní limity výfukových škodlivin pro vznětové motory i pro plynové varianty těchto motorů ukazuje tabulka, která poskytuje pohled na celkový vývoj jejich postupného zpřísnování od začátku platnosti předpisu EHK 49 (původní 13 bodový emisní test a jeho modifikace) až po emisní test ESC s limity EURO 4 a EURO 5.

Předpis	Platný od	Limity měrných emisí [g/kWh]			
		CO	HC	NO _x	PM
EHK 49.00 (ECE R 49.00)	1983	14,0	3,5	18,0	-
EHK 49.01	1990	11,2	2,4	14,4	-
EHK 49.02 (EURO 1)	1993	4,5	1,1	8	0,36
EHK 49.03 (EURO 2)	1996	4	1,1	7	0,15
EHK 49.04 (EURO 3)	2001	2,1	0,66	5	0,1
EURO 4 - ESC	2005	1,5	0,46	3,5	0,02
EURO 5 - ESC	2008	1,5	0,46	2,0	0,02

Tab. 2. Emisní limity výfukových škodlivin vozidel M2, M3, N2 a N3

Emisní testy TRANSIENT vyžadují výrazně odlišnou a technicky složitější zkušební technologii než postačuje pro emisní měření podle EHK 49.03: emisní test ESC lze provádět na běžných dynamometrech, pro testy ELR a ETC musí být použitý asynchronní dynamometr s plně automatizovaným řízením provozu a automatizovaným sběrem všech dat (výkonových i emisních). Emisní test ESC je nejjednodušší variantou nového emisního testu EHK 49 pro kategorie vozidel M2, M3, N2 a N3, který ve 13 bodech testu pokrývá většinu provozní oblasti motoru (v každém režimu je motor měřen 2 minuty a výsledek se hodnotí výpočtově s uvažováním významové váhy jednotlivých režimů). Emisní testy ESC a ELR jsou určeny pro vznětové motory bez přídavných zařízení pro dodatečnou úpravu výfukových emisí, emisní test ETC je potom pro plynové motory a vznětové motory s přídavnými zařízeními na dodatečnou úpravu výfukových emisí (katalyzátory, zachycovače částic). Pro emisní test ETC jsou emisní limity stanoveny s ohledem na výrazně dynamickou povahu testu jinými hodnotami než jsou pro test ESC a pro kategorie vozidel M2, M3, N2 a N3 platí limity, uvedené v následující tabulce.

Předpis	Platný od	CO	NMHC	CH ₄	NO _x	PM
EURO 3	10.2000	5,45	0,78	1,6	5,0	0,16
EURO 4	10.2005	4,0	0,55	1,1	3,5	0,03
EURO 5	10.2008	4,0	0,55	1,1	2,0	0,03

Tab. 3. Emisní limity podle testu ETC [g/kWh]

Časový průběh emisních limitů v předcházejících tabulkách názorně ukazuje postupné zpřísnování požadavků pro všechny složky výfukových škodlivin při emisních testech podle předpisu EHK 49: výrazné snížení limitů je potom zejména u částic PM předpisem EURO 4. Tato skutečnost dokládá, jakým technickým vývojem v posledních 10-15 letech prošly zejména vznětové motory a jejich příslušenství: pro splnění limitů PM a NO_x (zejména pro EURO 5) musí být dnešní přeplňované vznětové motory vybaveny složitou technologií s elektronickým motormanagementem pro plnění válců a tvoření směsi i nákladnou technikou dodatečného „čištění“ výfukových plynů. Výrazné snížení výfukových škodlivin u moderních vznětových motorů tak vede ke zmenšování rozdílů mezi ekologickými vlastnostmi plynových a vznětových motorů v legislativou sledovaných složkách výfukových emisí: přesto patří plynové motory svými emisními vlastnostmi do kategorie pohonů s velkým ekologickým přínosem pro životní prostředí (zejména pro oblasti s větším soustředěním lidí, např. městské aglomerace a lázeňské či rekreační území). Důvodem jsou ekologické efekty plynových motorů ve skupině hygienicky nejrizikovějších látek ve výfukových plynech, které ale zatím nejsou u těchto motorů legislativně sledovány.

Z předcházejících údajů i z dalších požadavků na šetrnější vztah k přírodě je zřejmé, že tlak na omezování škodlivého působení provozu motorových vozidel na životnímu prostředí bude sílit. Nejde ale jenom o toxické látky ve výfukových plynech, vážný problém vzniká využíváním a celkovou spotřebou fosilních paliv tím, že se do ovzduší dostává stále větší množství CO₂ jako produktu dokonalé oxidace uhlíku a tím dochází k narušování rovnováhy v procesu jeho biologického využití v přírodě.

2.1 Nebezpečné emise

Přestože při spalování nafty a benzínů produkují motory velké množství různých plynů, sloučenin a prvků, nejsou všechny omezeny. Normy definují nejvyšší povolené hodnoty pouze u těch nejzávažnějších z nich. Jedná se o tyto:

Oxid uhelnatý (CO) - Váže se na krevní barvivo a blokuje přenos kyslíku krví. Nejcitlivějším orgánem na nedostatek kyslíku je mozek.

Oxidy dusíku (NO_x) - Některé z těchto oxidů způsobují již při malých koncentracích pocit dušení a nucení ke kašli. Na černou listinu sledovaných škodlivých látek se ovšem oxidy dusíku dostaly zejména kvůli významnému podílu na tvorbě tzv. letního smogu. Pro letní smog jsou typické především zvýšené koncentrace přízemního ozónu (O₃), který je pro člověka jedovatý. Oxidy dusíku přispívají k chemické reakci, při níž ozón vzniká. Za jistých klimatických podmínek (teplé slunečné počasí a bezvětří) je tvorba tohoto smogu nejvýznamnějším negativním dopadem emisí na životní prostředí. Takové podmínky panují např. v Kalifornii, proto se někdy používá označení "kalifornský smog".

Nespálené uhlovodíky (HC) - Některé skupiny uhlovodíků dráždí sliznici a oči. Také podporují tvorbu jedovatého ozónu. Uhlovodíky jsou tedy významnou složkou při vzniku letního smogu. Navíc některé skupiny uhlovodíků mohou být karcinogenní (rakovinotvorné).

Pevné částice (PM) - Vznikají nejčastěji při provozu vznětových motorů. Jedná se zejména o pevný uhlík ve formě sazí. Saze mohou být nosičem rakovinotvorných látek, které se po vdechnutí usazují v plicních sklípcích. Pevné částice jsou též hlavní příčinou výskytu tzv. zimního smogu, typického pro inverzní charakter počasí v zimních měsících. Jedná se většinou o směs kouře a mlhy. Zimní smog se také projevuje zvýšenými koncentracemi oxidů dusíku.

Oxid uhličitý (CO₂) - Není přímou škodlivinou, proto není legislativně omezen. Avšak přispívá k tvorbě tzv. skleníkového efektu, který má za následek globální oteplování země.

3.0 Přehled typů hybridních pohonů používaných u autobusů

Hybridní pohon se začal vyvíjet jako alternativa k elektrickému pohonu. Hybridní pohon má možnost využívat kinetickou energii jedoucího vozidla pro rekuperaci energie, ale zároveň má nadále i přednosti klasického pohonu se spalovacími motory, tedy dlouhý dojezd a snadné doplňování energie. Při rovnoměrném pohybu pracuje spalovací motor v režimu s maximální tepelnou účinností a koncepce hybridního pohonu umožňuje rekuperaci energie při brzdění motorem. Celá pohonná jednotka je založena na specifickém propojení spalovacího motoru a vhodných akumulátorů pro akceleraci a deceleraci vozidla. Existuje několik variant uspořádání hybridního pohonu.

Co vlastně znamená pojem - Rekuperace energie:

Jde o proces přeměny kinetické energie dopravního prostředku zpět na využitelnou elektrickou energii při brzdění. energii lze ukládat do akumulátorů, případně rovnou vracet do napájecí soustavy. Hlavním přínosem rekuperace je snížení energetických ztrát. Projevuje se především v prostředí, kde je nutné často brzdit a opět se rozjíždět, což je u městských autobusů častý jev.

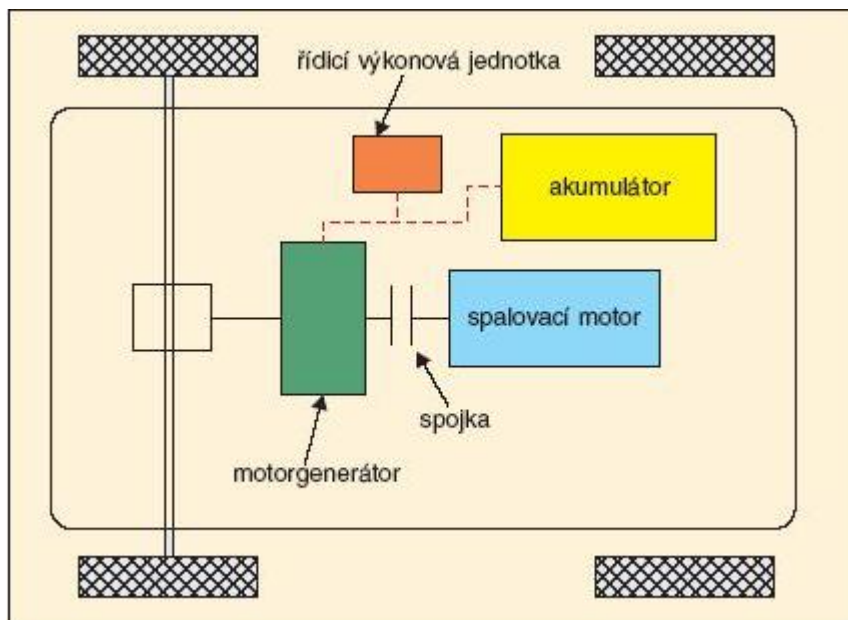
3.1 Hybridní autobusy dle koncepce pohonu:

U autobusů se navzájem kombinují následující hnací a zdrojové složky: vznětový motor a provoz na akumulátory. Tyto dva způsoby hybridního pohonu mají dvojí možnost zapojení: paralelní nebo sériové.

3.1.1 Paralelní koncepce

První variantou je paralelní koncepce znázorněná na obr. 3.1. Základem je spalovací motor s převodovkou a mechanickým náhonem na hnací nápravu. Paralelně k hnacímu motoru je přes soustavu spojek připojen elektrický motorgenerátor. S využitím energie akumulátorů zvyšuje tato soustava elektrického a spalovacího motoru celkový moment.

Vhodnou momentovou charakteristikou elektrického motoru lze zaručit dostatečný moment celého soustrojí na kolech vozidla v celém rozsahu uvažovaných rychlostí.

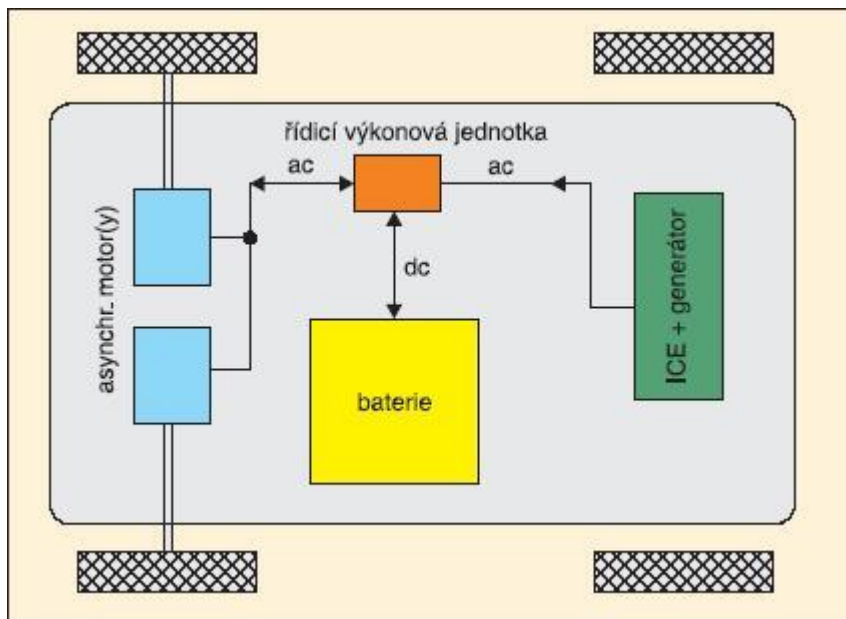


Obr. 3.1. Paralelní koncepce [4]

S paralelní koncepcí souvisí i nadějná varianta pohonu s palubní sítí 42 V. Nástup této generace vozidel lze očekávat v dohledné době. Při tomto napětí je akumulátor sice větší, ale maximalizuje se tím hustota výkonu, takže je možné dosáhnout krátkodobě přímo nebo pomocí vzestupných (step up) konvertorů s elektrickým motorem výkonu v rozpětí 5 až 10 kW. Při této koncepci je obvykle součástí setrvačnicku spalovacího motoru motorgenerátor na společné hřídeli, který slouží pro startování, dále jako zdroj dodatečného momentu motoru zejména v oblasti malých otáček a konečně jako zdroj energie při regenerativním brzdění. Klasické schéma pohonu je tedy doplněno o možnost akumulace brzděné energie, výrazně se zlepšuje akcelerace vozidla a obvykle se i zjednoduší převodovka. Celková hmotnost vozidla vzroste proti klasickým hybridním vozidlům pouze nepatrně. Ostatní dobré vlastnosti klasického pohonu zůstanou zachovány.

3.1.2 Sériová koncepce

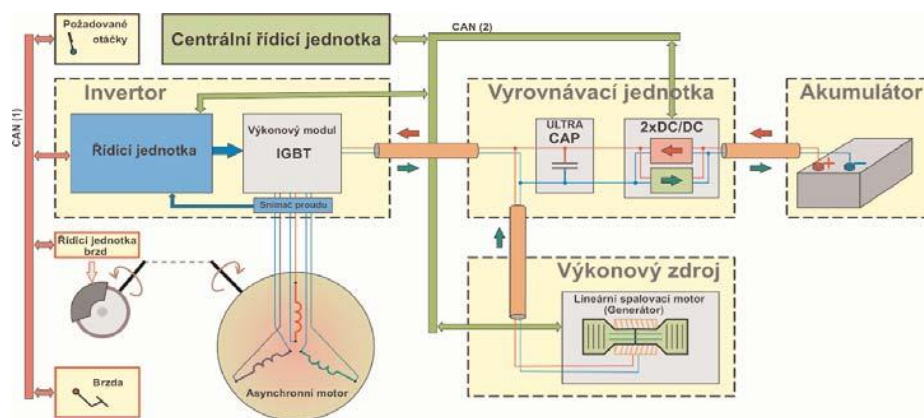
Druhou základní možností je tzv. sériová koncepce hybridního vozidla znázorněná na obr. 3.2. Základem je spalovací motor (ICE – Internal Combustion Engine) pevně spojený s generátorem. Motor je provozován zásadně v oblasti své nejvyšší termodynamické účinnosti a jeho výkon je navržen tak, aby zajišťoval střední hodnotu nutného výkonu pro požadovanou ustálenou rychlost vozidla. Hnací náprava nebo nápravy vozidla jsou pevně spojeny s jedním nebo několika trakčními elektromotory. Většinou se jedná o asynchronní motory s výkonovými invertory, umožňující dosažení téměř ideálních trakčních vlastností. Nedílnou součástí pohonného systému je dále vhodná akumulátorová baterie, která zajišťuje veškeré požadované výkonové špičky v obou směrech při akceleraci i regenerativním brzdění. Protože motorgenerátor není pevně spojen s hnací nápravou, lze celý pohonný systém vozidla navrhnout modulárně a návrh jeho umístění na vozidle je mnohem volnější oproti paralelní koncepci.



Obr. 3.2. Sériová koncepce hybridního automobilu [4]

Ve městě při typické jízdě v hustém provozu může pracovat motor pouze výjimečně a provoz je převážně zajištěn akumulátory, zatímco ve volné krajině s minimálními ventilačními problémy může motorgenerátor pracovat v optimálním režimu. Otáčky motoru nejsou svázány s otáčkami kol, a proto může pracovat v podmínkách maximální termodynamické účinnosti a současně dobíjet akumulátory bez nutnosti vnějšího nabíjení. Při

výběru velikosti a typu akumulátoru je prvořadým určujícím kritériem jeho výkonová hustota. Ta určuje celkovou hmotnost pohonu. Hustota energie použitého akumulátoru má proti elektromobilům menší význam. Dá se předpokládat, že v budoucnu bude tato koncepce výhodnější. Již dnes se začínají vyrábět speciální akumulátory, které preferují výkonovou hustotu na úkor energetické hustoty. Představu o požadavcích na řídicí systém pro tuto koncepci dokumentuje obr. 3.3. Zde je rovněž řešeno propojení nosičů energie s nízkou a vysokou hustotou výkonu tak, aby se optimalizovalo ukládání i odběr energií v obou směrech pro oba typy akumulátorů.



Obr. 3.3. Řídicí a výkonové systémy sériového hybridního automobilu [4]

3.2 Autobusy s palivovými články

Samostatnou kategorií jsou hybridní autobusy, v nichž je spalovací motor v roli primárního zdroje energie nahrazen palivovými články, přeměňující chemickou energii vodíku a kyslíku na elektrickou energii.

I přes rychlý vývoj technologie několika perspektivních typů palivových článků zde však zůstává mnoho nedořešených problémů. Především vodíkové palivo je palivem umělým, na jehož získání se spotřebuje mnoho energie a ve většině případů se při výrobě petrochemickými metodami uvolní srovnatelné množství CO_2 , jako když se uhlovodíkové palivo přímo spaluje v motorech. Skladování vodíku na palubě mobilního prostředku je a dlouho bude nedořešený problém jak z hlediska bezpečnosti, tak i efektivity. Palivový článek

kteréhokoli typu je zatím zdrojem s nízkou výkonovou hustotou a pro pohon vozidla musí být doplněn další akumulátorovou baterií.

Protože tankování vodíku je zatím málo rozšířené, je na palubě ještě chemický reaktor pro přeměnu uhlovodíkového paliva na vodík. Toto hmotné a rozměrné zařízení však v žádném případě nezlepšuje efektivitu ani ekologické vlastnosti provozu. Produkce skleníkových plynů je na podobné úrovni jako u klasických hybridních automobilů. Vlastní řídicí systém palivových článků je mnohem komplexnější systém v porovnání s řídicími systémy spalovacích motorů, a to dále zvyšuje pořizovací i provozní náklady v porovnání s klasickým hybridním pohonem. Lze odhadnout, že k vyřešení naznačených problémů bude spíše potřeba delší čas, i když je již dnes několik desítek hybridních automobilů s palivovými články úspěšně testováno.

3.3 Akumulátory pro hybridní autobusy:

Podle velikosti použitých akumulátorů, resp. podle množství energie, kterou akumulátory mohou pojmout, lze navrhnout hybridní pohon pro konkrétní provozní podmínky. Z možných řešení lze na jedné straně použít velké množství akumulátorů a relativně malou pohonnou jednotku se spalovacím motorem. To je varianta pro městský provoz autobusů a předpokládá časté vypínání pohonné jednotky.

Na druhé straně lze zkonstruovat hybridní autobusy pro ryze dálkový provoz a vybavit ho silnou pohonnou jednotkou, akumulátory s malou kapacitou a vysokou výkonovou hustotou. V této koncepci je pohonný agregát schopen dodávat veškerou energii pro požadovanou dlouhodobou maximální požadovanou rychlost a krátkodobé akumulátory hradí pouze výkonové špičky při akceleraci. Současně lze tyto akumulátory nabíjet vysokým špičkovým výkonem při regenerativním brzdění. Autobus této koncepce je zcela autonomní a veškeré nabíjení akumulátorů je zajištěno palubními agregáty. Vzhledem k možnostem elektronického řízení trakčního motoru nebo několika motorů lze při konstrukci maximálně zjednodušit převodovku. Je třeba poznamenat, že tato vlastnost se plně uplatní zejména u sériové koncepce hybridního autobusu.

Vlastnosti skutečného hybridního autobusu se pohybují podle specifického zadání vlastností mezi oběma uvedenými krajními řešeními. Pro řídicí techniku je zajímavý problém řešení strategie využití všech energetických zdrojů podle zvoleného kritéria kvality. Jiná strategie bude uplatňovaná v hustém provozu ve městě a jiná při jízdě plnou rychlostí v krajině. Využití brzděné energie je efektivní, pokud ji lze skladovat. Na druhé straně je dobré, když při jízdě ustálenou rychlostí je akumulátor maximálně dobíjen pro zajištění nenadálých výkonových špiček.

3.3.1 Požadavky na akumulátory:

- možnost rychlého nabíjení,
- nízká údržba,
- životnost nejméně 5 až 10 let,
- umožňovat jízdní výkon více než 50 000 km,
- dosahovat energetické hustoty alespoň 200 Wh/kg, hustotu výkonu asi 100 W/kg,
- cena baterie by neměla přesahovat 150 Euro/kWh.

3.3.2 Druhy baterií:

Baterie Nikl metal hybrid – Jsou u hybridních autobusů asi nejrozšířenější zdroj energie. Tyto baterie jsou známé pod označením NiMH. Asi hlavním důvodem jejich použití je to, že jsou ekologičtější. Jejich provozní teploty se ovšem pohybují jen v rozpětí -10 °C až +40 °C a při teplotách pod bodem mrazu se jejich výkon rychle snižuje. Kapacitu však tento jev nesnižuje, po návratu do teplejšího prostředí se výkon baterie obnoví. NiMH jsou konstruovány na 500 nabíjecích cyklů. Jejich životnost je 5-7 let. Využívá je americká společnost GM Allyson.

Baterie Li-Ion (lithium iontové) - Měrná energie dosahuje 120 až 130 Wh/kg a životnost až 100 cyklů. Paměťový efekt se u nich nevyskytuje. Jejich kapacita relativně silně závisí na teplotě, klesá rychle mimo optimální rozsah mezi 5 až 30 °C. Další problém je dosud ještě vysoká cena.

Baterie nikel – kadmiové - Tyto baterie mají pro hybridní vozidla obecně velký význam. Jsou ve spotřebitelském oboru vyráběny malé, plynotěsné, uzavřené knoflíkové články. Baterie může být velmi rychle nabíjena. Vozidlo vybavené tímto typem baterií dosahuje větší dojezd o 50 %, než s olovenými bateriemi stejné hmotnosti. Za jistých podmínek vzniká paměťový efekt. Baterie mají vyšší pořizovací náklady než olovené, dosahují životnosti 1500 cyklů při dojezdu 120 000 km. Nové typy těchto akumulátorů vynikají zejména vysokou proudovou zatížitelností, vysokým počtem cyklů až 3000, vysokou životností 20 až 25 let, nízkou hmotností a širokým rozsahem teplot od -50 do +50 °C.

3.4 Superkapacitor

Vedle akumulátorů jsou dalším používaným zásobníkem el. energie superkapacitory. Jsou cenově velice nákladné, avšak jejich nesporná kvalita spočívá ve vysoké životnosti, která činí vysokých 10-12 let. Toto číslo se rovná přibližně i životnosti autobusů. Jejich provoz je takřka bezúdržbový, mají dobré vlastnosti i při kolísání teplot. Jedná se pro autobusy s hybridním pohonem o technologii blízké budoucnosti.

Princip činnosti:

Využívá vlastností běžného deskového kondenzátoru. Vysoké kapacity je dosaženo pomocí dvou vrstev kondenzátoru a kombinací vlastností:

- Mikroporéznost - plochy desek kondenzátorů dosahují vysoké hodnoty
- Elektrická dvouvstřeva – neboli nepatřičná vzdálenost mezi elektrodami. Výsledná kapacita je i přes nízkou hodnotu permitivity vakua v řádech tisíců Farradů.

4.0 Přehled typů autobusů s hybridním pohonem a jejich technické parametry

V této kapitole se budu zabývat jednotlivými typy používaných hybridních autobusů a jejich parametry.

4.1 Volvo 7700 Hybrid

Švédská společnost Volvo Group představila hybridní městský autobus, který vychází ze sériového nízkopodlažního modelu 7700.



Obr. 4.1. Volvo 7700 Hybrid [6]

Základ pohonu tvoří vznětový čtyřválec MD5 o objemu 4,76 litrů se vstřikováním common rail a plnicími tlaky až 160 MPa. Nadčtvercový motor díky mezichladiči stlačeného vzduchu dosahuje výkonu 158 kW a disponuje točivým momentem o maximální hodnotě 800 Nm. Jednotka pomocí selektivní katalytické redukce SCR vyhovuje emisní normě Euro 5 a dokonce také splňuje přísnější požadavky EEV (Enhanced Environmentally Vehicle).

Hybridní systém třídvěřového autobusu tvoří elektromotor o nárazovém největším výkonu 120 kW, přičemž točivý moment disponuje hodnotou až 800 Nm. V průběžném provozu jsou tyto údaje redukovány na 70 kW a 400 Nm. Optimalizaci pohonů zajišťuje elektronické zařízení I-SAM. Zapojení elektroagregátu nachází uplatnění zejména při

rozjíždění z klidu, protože tato složka pohonu dodává velký točivý moment prakticky od nulových otáček rotoru. Při rychlosti 15-20 km/h I-SAM nastartuje diesellový čtyřválec, který spolu s elektromotorem zajišťuje kontinuální jízdu. K její plynulosti a pro propojení obou pohonných jednotek slouží automatizovaná dvanáctistupňová převodovka I-Shift se čtyřmi rychlostmi zpětného chodu. Při brzdění dochází k přeměně kinetické energie na elektrickou, což způsobuje elektromotor fungující jako retardér. Energie se rekuperuje do lithium-iontových akumulátorů o napětí 600 V a kapacitě 4,8 kWh.

Díky hybridní technologii dochází k úspoře paliva až o 30 %. Tento údaj není daleko od reality v běžném provozu, protože u městského Volva 7700 Hybrid lze předpokládat velmi časté zastavování a opětovné rozjíždění. V případě emisí výfukových plynů má dojít k snížení v rozmezí 40 až 50 %. Výrobce má spočítáno, že náklady na hybridní technologii by se měli vrátit v průběhu 5-7 let v závislosti na růstu ceny paliva. Autobus pro 95 cestujících využívá vlevo vzadu uložené pohonné ústrojí, nad motorovým prostorem jsou umístěna čtyři sedadla na zvýšené podlaze. Celá hybridní technologie se tedy vejde pod čtveřici sedadel.



Obr. 4.2. Umístění hybridní technologie pod čtveřicí sedadel [6]

4.2 Scania

Švédská automobilka Scania zahájila rozsáhlý program provozních zkoušek hybridních hnacích řetězců instalovaných v městských autobusech.



Obr. 4.3. Scania OmniLink ve Stockholmu [7]

Nový hybridní agregát Scania je výsledkem pětiletého intenzivního vývojového programu rozvíjeného v technickém centru automobilky v Södertälje a realnost studie potvrzuje, že hybridní hnací ústrojí je v intenzivním městském provozu se stále se opakujícími rozjezdy a zastaveními, ale také vysokým stupněm regenerace energie vznikající při zpomalování doslova ideální.

Schéma hnací soustavy začíná spalovacím motorem, v tomto případě vznětovým agregátem spalujícím etanol. Výkonný generátor elektrického proudu (alternátor) je uložen na výstupu ze spalovacího motoru. Stejná jednotka na hnací nápravě zdvojuje funkci hnací a generátorovou. Prototyp přináší provozní parametry skutečně výjimečné – spotřebu paliva o čtvrtinu nižší a emise o více než 90 % menší ve srovnání se současným standardním hnacím ústrojím. Šestice hybridních agregátů je nasazena do provozních zkoušek v třinápravových městských autobusech Scania OmniLink o délce 13,7 m v nízkopodlažním provedení, které

jezdí na linkách vedených centrem Stockholmu. Hybridní řetězec je vestavěn do stejného prostoru, jaký v konvenčních konstrukcích zaujímá běžný „diesel“ s převodovkou. Kapacitní akumulátory elektrické energie jsou ukotveny na střeše vozidla.

Hybridní soustrojí se sériovou vazbou charakterizuje klíčová skutečnost – absence mechanického spojení mezi spalovacím a elektrickým motorem. To poskytuje konstruktérům značnou volnost pro uspořádání stavby vozidel nových koncepcí. Jednotlivé prvky hnacího řetězce mohou být situovány odděleně, nezávisle na sobě a v různých prostorách vozidel. Například ve prospěch rozložení hmotnosti i tvaru a uspořádání prostoru pro cestující.

Zajímavostí je uložení součástí hnacího řetězce v zádi nad sebou a pracoviště řidiče v samostatném bloku nad přední nápravou, což umožnilo vytvoření kubického, prostorného a ničím neomezovaného interiéru. Podvozek s koly umístěnými doslova v rozích karoserie bez převisů, která jsou všechna řízena ve velkém rejdu i poháněna, poskytuje naprosto ojedinělou obratnost i v nejsložitějších prostorech s čistými průjezdy ve stopě bez nabíhání přesahů karoserie. Modulární stavba s využitím unifikovaných montážních bloků vytváří ojedinělou možnost výroby vozidel různých formátů, zejména výrazně nízkopodlažních s širokými dveřmi. Například letištních velkokapacitních speciálů, nebo „doubledeckerů“, ale také zcela nově pojatých užitkových vozidel, především pro svoz komunálního odpadu, nebo rozvážku nákladů na krátké vzdálenosti v městských centrech.

Využitím hybridní technologie u autobusů Scania došlo k těmto nepřehlédnutelným významným přínosům:

- *redukce spotřeby paliva o 25 %,*
- *podstatné zvýšení komfortu cestujících zásluhou naprosto plynulého rozjezdu a zpomalení,*
- *radikální redukce emisí CO₂ o 90 %,*
- *vysoký výkon a točivý moment výrazně překračující potřeby provozu,*

Pro dosažení co nejlepší dynamiky a provozních parametrů hybridních autobusů zvolili konstruktéři jak velmi výkonný spalovací motor, tak také špičkový elektrický motorgenerátor. Vynikající hodnotou je především točivý moment elektromotoru, který činí 2750 Nm a roste při rozjezdu od nuly po maximum naprosto plynule bez stupňů a rázů. Také

kapacitní akumulátory energie jsou koncipovány pro velký výkon a rychlé dobíjení i vybíjení v opakovaných cyklech.

Technické parametry:

- kapacita tohoto autobusu je 87 míst a dosahuje maximální rychlosti 78 km/hod,
- motor: 9-litrový s technologií EGR, který může být s pohonem paliva jako je ethanol, diesel nebo plyn,
- elektromotor: Voith ELVO Drive, vodou chlazený, maximální točivý moment 2750 Nm, standardní moment 1800 Nm,
- zásobník energie: Ultrakondenzátor 4x125 Volt Maxwell BOOSTCAP chlazený vzduchem.

4.3 Solaris Urbino 18 Hybrid

Ve vývoji hybridních autobusů nezaostává ani Polsko a to zásluhou společnosti Solaris Bus&Coach, která vyvinula ve spolupráci s americkou firmou Allison autobus s hybridním pohonem Urbino 18 Hybrid.

Cílem konstrukce hybridu Urbino 18 Hybrid byla úspora pohonných hmot, snížení emisí a hlučnosti, dobré zrychlení a dobré jízdní vlastnosti. Chce se toho dosáhnout tím, že vždy optimálně spojíme dnes nejlepší ze světa mechanických a elektrických pohonů s jízdní situací. Mechanický pohon má vyšší stupeň účinnosti než pohon elektrický. Elektromotory vykazují, především při vyšších otáčkách, ztráty výkonnosti. Při rozjezdu dieselmotoru se musí řídit. Elektrické pohony jsou klíčem k akumulaci a zpětné rekuperaci (získávání) energie při brzdění.

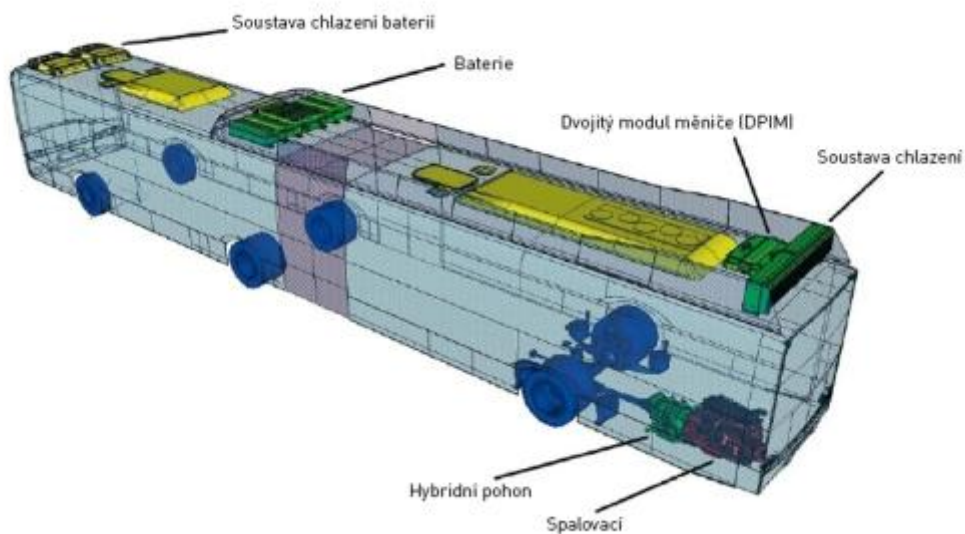


Obr. 4.4. Solaris Urbino 18 Hybrid [7]

Díky pokročilému řízení motor celou dobu pracuje v optimálním rozsahu svých charakteristik a nadbytek jeho výkonu pak dobíjí baterie během jízdy. Tato technologie rovněž dovoluje znovu získat energii, která vzniká brzděním vozidla, hromadí ji ve speciálních bateriích a později ji opět využívá ke zrychlování autobusu. Celkový počet cestujících je až 161 osob.

Ekologické přednosti Solaris Urbino 18 Hybrid

- Menší emise výfukových plynů:
- 25,3% menší emise CO₂
- 31,8% menší emise sloučenin uhlovodíků
- 56,4% menší emise CO
- 78,1% menší emise pevných částic



Obr. 4.5. Rozmístění elementů hybridního pohonu v autobusu Solaris 18 hybrid [13]

POHON Ev - Je centrální součástí hybridního systému, ve kterém se provádí sčítání (blending) momentu spalovacího motoru a elektrického motoru. Skládá se mimo jiné ze dvou elektrických motorů, dvou synchronických spojek a tří planetových převodů. Modul Ev vypadá jako tradiční převodovka.

BATERIE - Náležitě přeměněná energie, získaná během procesu brzdění se hromadí ve speciálních bateriích, které jsou připevněné na střeše autobusu. Díky tomu se baterie nemusí nabíjet z vnějších zdrojů energie. Období provozu kompletu niklmetalhydridových baterií NiMH o hmotnosti 410 kg je přibližně 6 let v závislosti od způsobu jízdy autobusem.

ŘÍDÍCÍ JEDNOTKA - Je poslední součástí systému. Tvoří ji dva řídicí moduly firmy Allison série 1000/2000. Úkolem první jednotky je kontrola a řízení práce hybridního pohonu, a druhá jednotka odpovídá za spolupráci s jinými soustavami vozidla.

DVOJITÝ MODUL MĚNIČE (DPIM) - Dual Power Inverter Module je jedna z důležitějších částí elektrického systému Allison. DPIM se skládá ze dvou modulů měničů (konvertorů) AC/DC - DC/AC, které váží dohromady 75 kg. DPIM je chlazený olejem.

4.4 Mercedes-Benz Citaro FuelCELL Hybrid



Obr. 4.6. Mercedes-Benz Citaro FuelCELL Hybrid [6]

Vozidlo je vybaveno hybridním diesel-elektrickým pohonem se zapojením do série, který znamená možnost pohánět autobus na krátké vzdálenosti pouze elektrickou energií. Kompaktní vznětový motor o zdvihovém objemu 4,8 l nepohání přímo vozidlo, ale žene generátor, který produkuje potřebnou elektrickou energii. Ta je skladována v bezúdržbových lithium-iontových bateriích uložených na střeše autobusu. Baterie jsou kromě toho dobíjeny energií získanou rekuperací při brzdění autobusu na zastávkách, či při samotném provozu na silnici. Kola Citaro G BlueTec Hybrid jsou poháněna elektromotory uloženými v jejich nábojích, resp. lépe řečeno v nábojích kol druhé a třetí nápravy.

Rekuperovaná energie získaná během brzdění autobusu do zastávek je využívána jak pro dobíjení baterií, tak pro samotný pohon elektrických systémů vozidla při stání v zastávkách, při rozjíždění ze zastávek a při akceleraci na běžné silnici. Tím pádem je vozidlo schopné na krátkých, ale z hlediska znečištění škodlivinami z výfuku i zvukového zatížení, vzdálenostech samostatné činnosti prakticky bez spuštění spalovacího motoru. Cílem konstruktérů je vyvinout celý systém hybridního pohonu tak, aby Citaro bylo schopno funkce

na polovině ujeté denní vzdálenosti. Podle profilu cesty a operačního modu očekávají konstruktéři ze Stuttgartu úsporu od 20 do 30 % pohonných hmot oproti autobusu vybaveného standardním spalovacím motorem.

4.5 GM-Allison

Hybridní autobusy již jezdí také v turecké metropoli Istanbul. Autobusy pro turecký dopravní systém Metrobus vyrábí nizozemská společnost Advance Public Transport Systems (APTS) BV a vybavuje je hybridním ústrojím, které vzniklo ve spolupráci amerického koncernu General Motors a předního výrobce převodovek, společnosti Allison Transmission Inc. z Indianapolis. V současné době v Istanbulu jezdí již více než 50 autobusů s hybridním pohonem, jedná se o největší dodávku autobusů, vybavených hybridním systémem GM-Allison.



Obr. 4.7. Hybridní autobus GM-Allison [6]

System GM-Allison by měl přinést provozovatelům výrazné snížení spotřeby paliva, hluku, nižší náklady na údržbu, vznětové motory podporované elektromotory mají větší točivý moment a vozidla díky tomu lépe zrychlují. System bylo snadné integrovat do vozidel a tím došlo také k úspoře hmotnosti zhruba jedné tuny. Tato úspora samozřejmě šetří nejen životní prostředí, ale zároveň lze zvýšit užitečnou hmotnost vozidla.

General Motors ve spolupráci s firmou Allison vyrábí svá hybridní zařízení od roku 2003. Na severoamerickém kontinentě jezdí již přes tisíc autobusů, vybavených hybridním

pohonem a v současné době mají zájem o tuto techniku další americká města, jako například Washington, Philadelphia nebo Minneapolis. Flotila „ekologických“ vozidel se tak zřejmě rozšíří o dalších 1700 jednotek. V květnu minulého roku se hybridů GM-Allison dočkalo i první mimoamerické město – německé Drážďany.

Provoz tranzitních autobusů s hybridním pohonem GM-Allison má přinést až 75 % úsporu paliv oproti autobusům se vznětovými motory, a také snížit emise oxidů dusíku (NOx) o 39 %, pevných částic o 97 %, oxidu uhelnatého o 60 % a uhlovodíků až o 75 %.

4.6 Orion VII

Veřejná doprava nemá ve Spojených státech amerických právě tu nejlepší pozici, ale New York tvoří jednu z mála výjimek. Zdejší dopravní společnost NYCT přepraví každý den sedm milionů pasažérů a aktuálně provozuje 1679 hybridních autobusů.



Obr. 4.8. Orion VII [8]

Jde o diesel-hybridní modely Orion VII dodané společností Daimler Buses North America (DBNA). Ta již dokončila dodávku posledních 1350 kusů. Podle Richarda Fergusona, prezidenta DBNA, jde o největší dodávku hybridních autobusů v historii společnosti.

Typ Orion se využívá po celých Spojených státech, např. San Francisku, Houstonu či kanadském Torontu. V New Yorku ale jezdí zdaleka nejvíce modelů. Daimler Buses je světově největším výrobcem hybridních autobusů, celkem jich po světě jezdí přes 3000. Hybridní autobus Orion VII je poháněn dieselovým motorem s obsahem 6,7 l, který je zapojen v sérii s elektromotorem a lithium-iontovou baterií.

4.7 Eletra bus

Pozadu s hybridními technologiemi nezůstala ani Brazílie. Brazilská společnost Eletra vyvinula hybridní autobus s technologií, která kombinuje dieselový motor, elektromotor a akumulátor energie.



Obr. 4.9. Autobus Eletra v São Paulu [8]

Hybridní systém umožňuje snížení až o 90% emisí, dále snížení o 20 až 30% spotřeby pohonných hmot. Tento typ autobusu je provozován v Brazílii, Chile a dokonce byl vyvezen až na Nový Zéland. Zájem o ně projevila i Panama, konkrétně o 300 autobusů. V dohledné době se plánuje vývoz i do Venezuely, Tchaj-wanu, Izraele, Indie a USA.

4.8 FCHV-BUS2

Tento typ hybridního autobusu jezdí pouze mezi japonskými městy Nagakute a Seto. Je vybaven dvěma palivovými články na stlačený vodík a hydrogenickými bateriemi, které pohánějí motor. Tento typ autobusu nabízí bezbariérový přístup pro vozíčkáře (maximálně mohou být převáženi dvě takové osoby). Jízdné je zcela zdarma a doba jízdy trvá přibližně 10 minut. Maximální počet přepravovaných osob činí 65.



Obr. 4.10. FCHV-BUS2 [10]

Maximální výkon autobusu je 80 kW a maximální točivý moment je 260 Nm. Jeho maximální rychlost činí 80 km/hod.

4.9 TriHyBus

Jedná se o světově unikátní autobus s trihybridním pohonem. Jde o první autobus s palivovými články vyvinutý ve střední a východní Evropě. Jedinečnost tohoto vozidla je v jeho trojitě hybridním pohonném systému. Zkratka TriHyBus vznikla z anglických slov triple hybrid hydrogen bus.



Obr 4.11. TriHyBus [11]

TriHyBus má elektromotor o výkonu 120 kW a je schopen jet maximální rychlostí 65 km/h. Střešní nádrž pojme 20 kg stlačeného vodíku, který vystačí na vzdálenost cca 300 km. Podle předpokladů by měl mít vodíkový autobus oproti benzínovému nižší spotřebu o 30 – 50 %. To znamená, že v průměru by měl tento prototyp spotřebovat 26 litrů ekvivalentu nafty na 100 km. Autobus s naftovým motorem spotřebuje na 100 km cca 40 litrů nafty. „Tankování“ vodíkového autobusu zabere zhruba 10 minut.

Vodíkový pohon je vedle avizované úspornosti také šetrný k životnímu prostředí, a to ze dvou důvodů. Zaprvé, zásoby vodíku jsou prakticky nevyčerpatelné a lze ho vyrábět různými způsoby. V současné době ale bohužel dominuje výroba z fosilních paliv. Zadruhé, vodíkový pohon je založen na reakci vodíku s kyslíkem a při jízdě tedy nevznikají žádné emise. Překážkou rozšíření v mnoha směrech revoluční „vodíkové technologie“ zatím

zůstávají vysoké náklady spojené s výrobou vozidel (prototyp TriHyBusu stojí cca 2 mil. eur, vodíkový autobus Mercedes cca 1 mil. eur) a budováním sítě čerpacích stanic. První sériově vyráběný osobní vodíkový automobil Honda FCX Clarity má dojezd 400 km. V rozlehlejších zemích je proto vybudování poměrně husté sítě vodíkových čerpacích stanic nezbytností.

Základní technické parametry TriHyBusu:

Výkon: 120 kW

Hmotnost: 18 tun

Max. rychlost: 65 km/h

Zásobník na střeše: 20 kg vodíku

Dojezd: 300 km

Spotřeba vodíku: 7,5 kg / 100 km

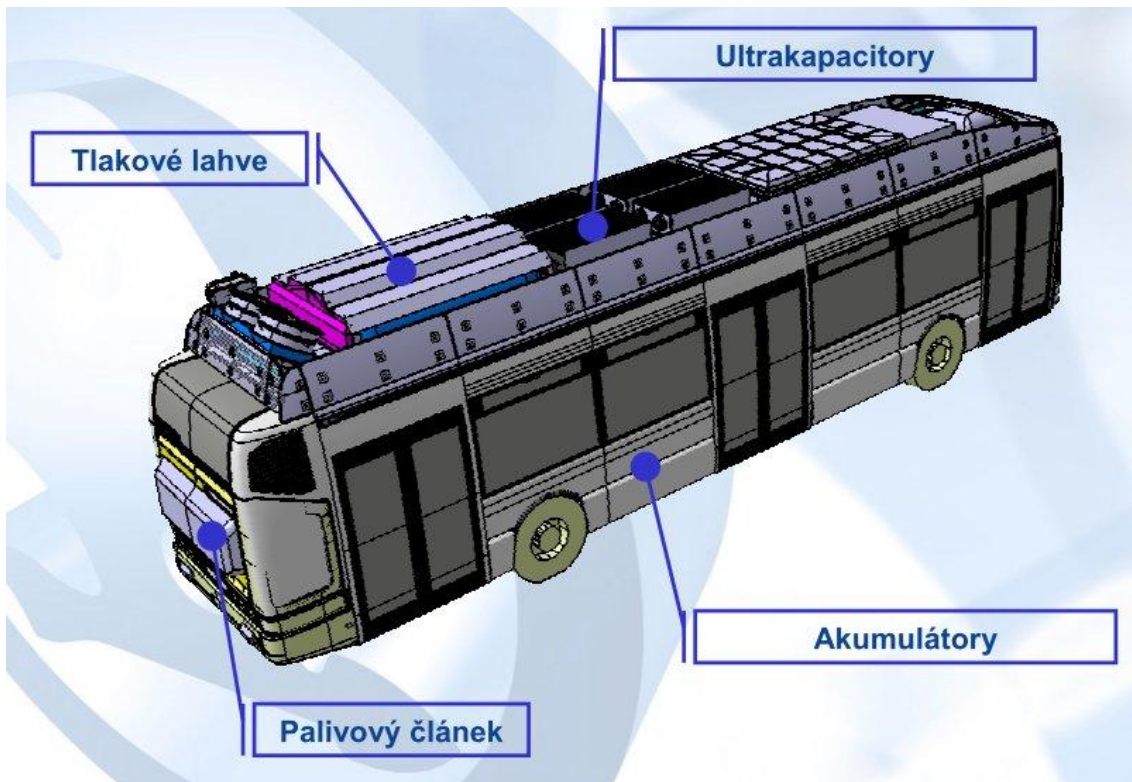
4.9.1 Hybridní pohon:

Autobus bude využívat pokročilé hybridní technologie s cílem optimalizace energetických toků ve vozidle. Základním zdrojem energie bude elektřina z palivových článků (výrobce Proton Motor, výkon cca 60kWe), dále baterie Li-ion (10 kWh, 40 kW) a ultrakapacitory (1,2 kWh, 200 kW) pro rekuperaci energie při brždění a k pokrytí proudových špiček při rozjezdu. Palivový článek je zařízení, které při elektrochemické reakci přeměňuje chemickou energii kontinuálně přiváděného paliva s oxidačním činidlem na energii elektrickou. Oproti tepelným strojům s generátorem el. 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 spalovacích motorů.



Obr 4.12. Palivový článěk [15]

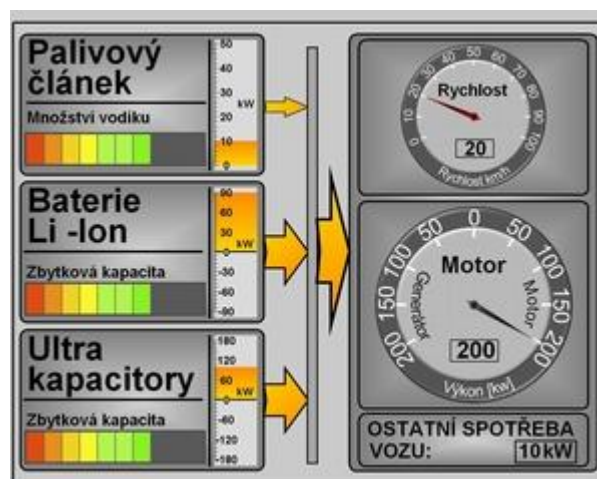
Pro spolupráci všech zdrojů energie je vyvíjen řídicí systém, který bude optimalizovat tok energií v systému napájení trakčního motoru. Tento systém bude umožňovat rekuperaci energie do sekundárních zdrojů (např. při jízdě z kopce) a její opětovné využití v energeticky náročných režimech (např. akcelarace). Toto uspořádání umožňuje využít palivový článěk, primární energetický zdroj, s relativně malým výkonem. Nad rámec běžných palubních ukazatelů bude pro tento autobus vyvinuto MMI rozhraní, které bude sdružovat ovládací, vizualizační a bezpečnostní funkce související s vodíkovým pohonem. Předpokládá se i prezentace projektových informací pro cestující.



Obr 4.13. Schéma Trihybusu [11]

4.9.2 Vizualizace provozních dat

Autobus je vybaven vizualizací dat pohonného systému pro cestující. Jednoduchým způsobem znázorňuje tok energií v rámci trojitého hybridního pohonného systému autobusu.



Obr 4.14. Vizualizace provozních dat pro cestující [11]

V levé části obrazovky se nacházejí dílčí energetické systémy hybridního pohonu. V pravé části obrazovky se zobrazuje aktuální spotřeba motoru, pomocných systémů a rychlost autobusu. Vertikální sloupec u každého systému zobrazuje aktuální výkon v kW, horizontální sloupec zobrazuje zbytkovou využitelnou energii v relativním měřítku. Při nabíjení má ukazatel výkonu odlišnou barvu, současně bliká status nabíjení. Tok energií v systému je reprezentován pomocí šipek, které zobrazují velikost a směr dodávaného nebo spotřebovávaného výkonu. Tenká vertikální linie ve středu obrazovky reprezentuje společnou stejnosměrnou sběrnici, na které dochází k distribuci výkonu dle sofistikované strategie trojitě hybridního pohonu.

Typické situace autobusu:

Normální jízda ustálenou rychlostí:

V tomto režimu jízdy dodává většinu energie palivový článek, při vyšších rychlostech se na jízdě podílí také baterie. Ultrakapacitory jsou v tomto režimu obvykle vybity.

Krátké brzdění - městský provoz, krátká jízda z kopce

Elektrická energie, která vzniká při brzdění autobusu, je prioritně akumulována do ultrakapacitorů. Již během několika sekund brzdění je patrný nárůst jejich kapacity. Baterie je dobíjena konstantním nízkým výkonem nebo vůbec. Výkon palivového článku je závislý na stupni nabití baterií.

Krátká akcelerace - rozjezd, menší kopec

Elektrická energie je prioritně odebírána z ultrakapacitorů, baterie se zapojuje postupně s jejich klesající kapacitou. Palivový článek dodává téměř konstantní výkon dle stupně nabití baterie.

Delší brzdění - delší jízda z kopce

Ultrakapacitory jsou během jízdy plně nabity již během několika desítek sekund. Při dostatku brzděné energie je baterie nabíjena maximálním povoleným nabíjecím výkonem. Palivové články dodávají minimální výkon. Přebytek energie je směřován do odporů, kde se mění v teplo.

Delší jízda do kopce, jízda vysokou rychlostí:

Palivové články dodávají výkon blízký maximálnímu dle požadovaného příkonu motoru a dle stupně nabití baterií. Baterie hradí rozdíl v poptávce po výkonu motoru a výkonu palivového článku. Ultrakapacitory jsou v tomto režimu vybity po několika desítkách sekund a pohonu se neúčastní.

Z výše uvedeného je patrný rozdíl ve způsobu zatěžování baterií a ultrakapacitorů. Ultrakapacitory jsou schopny dodávat velmi vysoké výkony po krátkou dobu, což je způsobeno jejich nízkou kapacitou akumulované energie vzhledem k hmotnosti a objemu systému. Baterie jsou naproti tomu schopny akumulovat řádově větší energie, maximální vybíjecí i nabíjecí výkon je však nižší než u ultrakapacitorů. Kombinací obou systémů je dosaženo optimálních provozních parametrů autobusu při relativně nízké hmotnosti celého systému.

4.9.3 Způsob financování

Vhledem k vysoké účinnosti hybridního vodíkového pohonu (a zároveň trojnásobné výhřevnosti vodíku oproti benzínu) jsou provozní náklady zhruba o 1/3 nižší než u srovnatelného dieselového autobusu. Investiční náklady jsou výrazně vyšší, což je mj. způsobeno skutečností, že se jedná o jeden prototyp.

Cena prototypu se pohybuje kolem 1 milionu eur (25,93 milionů Kč), s blížícím se spuštěním sériové výroby se dá ale předpokládat, že cena bude výrazně klesat.

Vodíkový autobus a vodíková čerpací stanice jsou financovány ze dvou projektů v rámci Operačního programu Infrastruktura - *opatření 2.3 - podpora zavádění alternativních paliv*.

Operační cíle opatření 2.3 – podpora zavádění alternativních paliv:

- snížení ekologické zátěže, která je způsobena rozvojem silniční dopravy
- zvýšení podílu motorových vozidel na alternativní paliva

Typy podporovaných projektů a kategorie oblastí intervence strukturálních fondů

- projekty podporující vývoj neklasických pohonů:
- na základě fosilních paliv (např. LPG – směs zkapalněného propanu a butanu, CNG – stlačený zemní plyn)
- na základě biomasy
- ostatní druhy založené na bázi elektrické energie
- podpora zavádění alternativních paliv do současných provozů
- osvojení technologie průmyslové výroby vodíku pro silniční vozidla, jeho skladování a technologie palivových článků

Kritéria pro výběr projektů

- výsledky musí obsahovat průkaz o snížení ekologické zátěže, zejména v oblasti globálních změn klimatu
- vyhodnocení dopadů na životní prostředí navržených intervencí

Koneční příjemci podpory - výrobci a vlastníci vozidel, u nichž bude nová technologie použita

1. projekt FCZ-H2Bus I přinesl celkem 16,6 mil. Kč.
2. projekt FCZ-H2Bus II přinesl celkem 67,028 mil. Kč.

Oba projekty jsou spolufinancovány z ERDF (European Regional Development Fund) a z rozpočtu ČR z kapitoly Ministerstva Dopravy ČR (program Úspory energie a využití alternativních paliv v resortu dopravy) a z vlastních zdrojů partnerů projektu v poměru:

ERDF: 56,25%

MDČR: 18,75%

Vlastní zdroje: 25%

4.9.4 První vodíková čerpací stanice v České republice v Neratovicích

Kterou vybuodovala pražská firma Linde Gas, dokáže plnit motorová vozidla plyným vodíkem o tlaku 35 MPa. Stanice se skládá z dvoustupňového vodíkového kompresoru, samotný vodík je skladován v nadzemním zásobníku o objemu 50 m³, celá kompresorová stanice je umístěna v železobetonovém kontejneru. Zatím zde tankuje vodík pouze TriHyBus, v budoucnu by mezi klienty čerpací stanice měly patřit i další vozidla jezdící na vodíkový pohon.



Obr. 4.15. Vodíková čerpací stanice [12]

Autobusu bude tankování vodíku trvat přibližně deset minut. Na plnou nádrž, 20 kilogramů vodíku, ujede vozidlo přibližně 300 kilometrů,“ říká Ivo Novotný, marketingový a personální ředitel Veolia Transport ČR.

Náklady na vybudování stanice byly zhruba 83 milionů korun, tři čtvrtiny z toho pokryly dotace od státu a EU. Jedná se o jedinou vodíkovou stanici nejen v celém Česku, ale vůbec v celé střední a východní Evropě.

Dodavatelem vodíku je rovněž společnost Linde Gas a.s.. V současné době je vodík vyráběn ze zemního plynu, ale výhledově - jakmile se poptávka zvýší - se počítá s technologiemi, které vodík zařadí mezi obnovitelný zdroj energie.



Obr 4.16. Tankování vodíku [12]

Parametry vodíkové čerpací stanice:

Kompresní část:

Uskladnění paliva: vodík ve vysokotlakých nádobách (30 MPa)
Objem nádrží: 4x600 litrů
Nadzemní zásobník: 50 m³
Plnicí tlak: 45 MPa (možnost navýšení až na 100 MPa)

Čerpací stojan:

Plnicí kapacita: 1 – 4 kg vodíku za minutu
Měření množství načerpaného vodíku: hmotnostní průtokoměr
Samoobslužný

5.0 Ekonomické srovnání autobusů s hybridním pohonem, s pohonem na CNG a s klasickým pohonem

V závěrečné kapitole se budu věnovat ekonomickému zhodnocení autobusů s hybridním, CNG a dieslovým pohonem. Toto hodnocení budu realizovat z několika hledisek, ať už se jedná o pořizovací cenu, či náklady spojené s cenou pohonných hmot jednotlivých typů autobusů. A dále je zde uvedena možnost státních dotací na nákup autobusů.

5.1 Pořizovací náklady

Jeden z nejdůležitějších faktorů, který hraje důležitou roli při koupi nového autobusu, je pořizovací cena vozidla a náklady spojené s provozem. Porovnával jsem pořizovací ceny amerických autobusů značky Orion, které vyrábí společnost Daimler Buses North America. Tento autobus byl ke srovnání vhodný z důvodu, že je vyráběn ve všech třech typech zkoumaných pohonů (hybridní pohon, CNG pohon, klasický konvenční pohon).

Typ autobusu Orion dle typu pohonu	Pořizovací cena autobusu
Hybridní autobusů VII	490 000 dolarů [9 800 000 Kč]
CNG (stlačený zemní plyn)	345 000 dolarů [6 900 000 Kč]
Diesel Orion	310 000 dolarů [6 200 000 Kč]

Tab. 4. Srovnání cen autobusů Orion

Vysoká cena autobusů s hybridním pohonem souvisí s tím, že jde o velmi mladou a teprve se rozvíjející technologii. Objednávky hybridních autobusů jsou zatím poměrně malé a produkce hybridů tvoří jen malé procento. Oproti tomu autobusy s klasickým konvenčním pohonem a v poslední době už také CNG autobusy mají nižší cenu díky vysokému zájmu a jejich vysoké produkci. Velkou roli do budoucna bude hrát zejména informovanost dopravních podniků o hybridní technologii a státní programy, které výrazně sníží celkovou

cenu hybridních autobusů státními příspěvky. Realizace hybridní technologie do dnešních autobusů je prakticky zcela závislá na dotacích, jelikož cena hybridní technologie je stále velmi vysoká a bez příspěvků by prakticky nedošlo k návratnosti investičních prostředků.

5.2 Náklady na pohonné hmoty

Následující tabulka porovnává náklady pohonných hmot dieselového, CNG a hybridního autobusu. Tyto výsledky byly naměřeny během testů uskutečněných dopravním podnikem v New Yorku. Porovnáván byl, stejně jako v předchozím srovnání, hybridní autobus Orion VII vyrobený společností GM Allison s ostatními typy autobusů. Zjištěné palivové úspory jsou pouze orientační, jelikož výše nákladů za pohonné hmoty je závislá na cenách plynu a nafty.

<i>Typ autobusu</i>	Diesel	Hybridní	CNG
<i>Náklady (dolar/km)</i>	0,597 [11,94 Kč]	0,4225 [8,45 Kč]	0,491 [9,82 Kč]

Tab. 5. Porovnání nákladů na 1 km jízdy

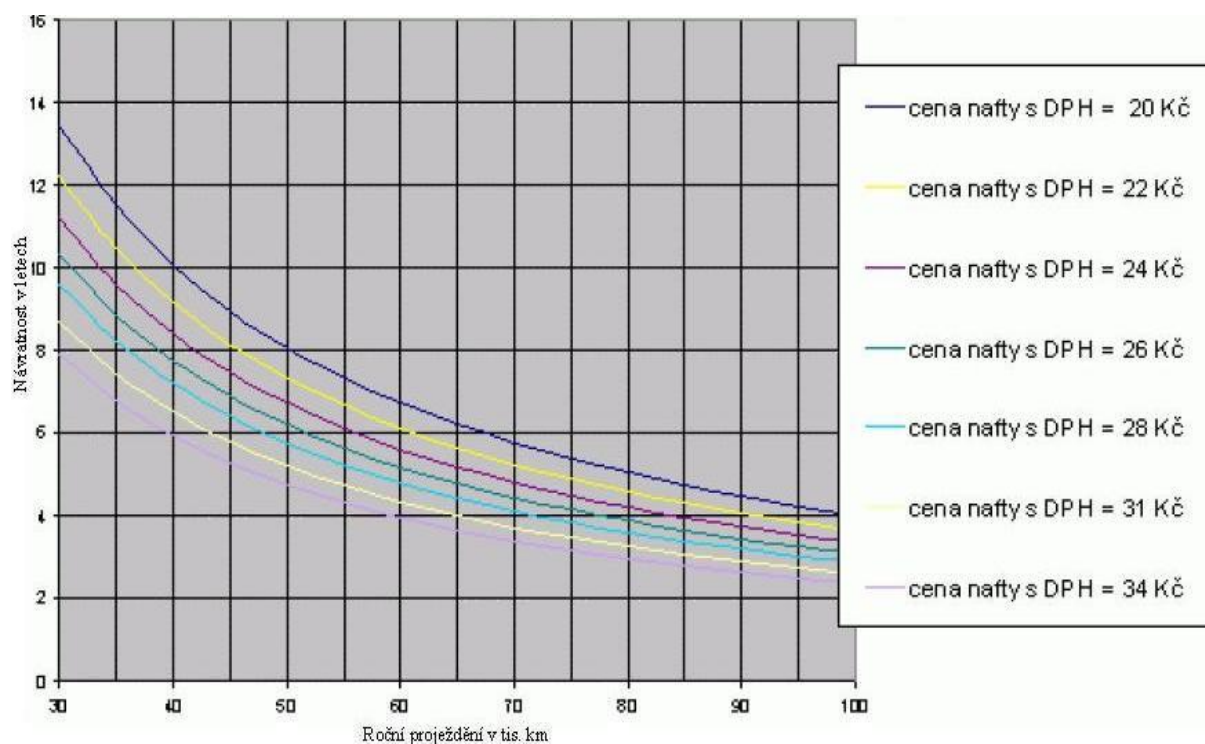
Jak je z tabulky na první pohled patrné, tak je navzdory vysoké pořizovací ceně hybridních autobusů jejich provoz neekonomičtější. Nevyžadují žádnou speciální údržbu a náklady na jejich koupi by se měli vrátit v horizontu pěti až sedmi let (samozřejmě, jak již bylo zmíněno výše, je tato návratnost závislá na státních programech a dotacích).

5.3 CNG vs klasický konvenční pohon

Jako nevýhoda autobusů na zemní plyn se může zdát o něco vyšší pořizovací cena. Rozdíl mezi CNG a naftovou verzí autobusu se pohybuje řádově mezi 0,84 mil. Kč do 1,06 mil. Kč. U nás je ale dopravním podnikům pro městskou a příměstskou dopravu poskytována dotace. V ČR lze získat na nákup nového CNG autobusu dotace od Ministerstva dopravy ČR, z regionálních operačních programů a od plynárenských společností. Tyto dotace by měly téměř plně pokrýt rozdíl ceny mezi CNG autobusem a diesellovým autobusem. Stát poskytuje dotaci 800 tisíc Kč na jeden CNG autobus, 200 tisíc Kč přispívají plynárenské společnosti a navíc je možno využít dotace 2,3 milionu Kč na nízkopodlažní verzi.

S ohledem na životní prostředí se snahy pro zvýhodnění vozů na zemní plyn soustřeďují i na úsporu nákladů při provozu. ČR má nulovou spotřební daň na zemní plyn do konce roku 2011 a až poté nastane postupný nárůst do roku 2020, kdy se srovná na hodnotu danou EU. Spotřební daň za naftu v roce 2010 stoupla o 1 Kč na hodnotu 10,95 Kč. Rozdíl v nákladech za provoz za jeden rok se u CNG autobusu a diesellové verze autobusu pohybuje kolem 100 000 Kč.

Graf č. 1: Návrstnost investic na koupi CNG autobusu oproti diesellovému autobusu v závislosti na ceně nafty [9]



Jak je z grafu patrné, tak při současné ceně nafty (30,80 Kč/l), je návratnost investice do CNG autobusu při předpokládaném najetí minimálně 50 000 km přibližně 5 let.

Vývoj podpory státu pro rozvoj CNG autobusů:

Rok 2005 - základ změny přístupu – Usnesení vlády ČR č. 563 z 11.5.2000, úkoly zainteresovaným ministerstvům v oblasti podpory CNG.

Rok 2006 – uzavření dobrovolné dohody mezi vládou ČR z 16.3.2006 a plynárenskými společnostmi o podpoře CNG jak ze strany vlády tak ze strany plynárenských společností (závazky na obou stranách).

Rok 2007 až 2020 – stabilizace nulové a později minimální spotřební daně na CNG od 1.1.2007 do 31.12.2020, Národní program snižování emisí.

Rok 2008 – Novela zákona o silniční dani stanoví od 1.1.2009 nulovou sazbu pro vozidla pro přepravu osob a pro vozidla do 12 tun. Cenové rozhodnutí ERÚ z 19.5.2008 o odstranění poplatků za překročení kapacity na plnicích stanicích.

Rok 2009 až 2013 - Dotace na pořízení autobusu s CNG pohonem v rámci obnovy vozového parku v částce 500 000 Kč (linkové) resp. 600 000 Kč (MHD).
Plynofikace vozidel státní správy.

5.4 Možnosti státních dotací na koupi a vývoj autobusů

5.4.1 Státní program: Podpora obnovy vozidel veřejné autobusové dopravy

Hlavním cílem programu je podpora služeb obecného hospodářského zájmu s ohledem na zvýšení ochrany životního prostředí. Sekundárním cílem programu je podpora přístupnosti vozidel veřejné dopravy pro osoby se sníženou schopností pohybu a orientace.

Plněním uvedených cílů bude dosaženo:

- zvýšení bezpečnosti a spolehlivosti systému veřejné dopravy,
- zatraktivnění veřejné dopravy vůči individuální dopravě,
- snížení škodlivých emisí na jednotku dopravního výkonu,
- rozvoj ekologických pohonů vozidel,
- úspora neobnovitelných zdrojů,
- úspora pohonných hmot na jednotku dopravního výkonu,
- zlepšení přístupnosti vozidel pro osoby se sníženou schopností pohybu a orientace

Dotace na podporu obnovy vozidel veřejné autobusové dopravy je rozdělena do dvou samostatných podprogramů:

1 - podprogram na obnovu vozidel veřejné linkové dopravy,

2 - podprogram na obnovu vozidel městské hromadné dopravy.

Výše dotace - Podprogram na obnovu vozidel veřejné linkové dopravy

Výše dotace na obnovu autobusů veřejné linkové dopravy je stanovena fixní částkou, vyhlášenou Ministerstvem dopravy na příslušný kalendářní rok. Zároveň platí, že dotace nesmí překročit 25 % ceny autobusu.

<i>Délka autobusu</i>	<i>Fixní výše dotace</i>
Nad 13 m nebo kloubový	900 000 Kč
Nad 10,7 m do 13 m	600 000 Kč
Nad 7,5 m do 10,7 m	500 000 Kč
Do 7,5 m	300 000 Kč

U nízkopodlažních autobusů se stanovena dotace zvyšuje o fixní částku vyhlášenou Ministerstvem dopravy na příslušný kalendářní rok v závislosti na délce autobusu. Maximální navýšení dotace může být do výše 50 % rozdílu pořizovací ceny standardního autobusu a nízkopodlažního autobusu.

<i>Typ autobusu</i>	<i>Navýšení dotace na rok 2010</i>
Nízkopodlažní (nad 13 m nebo kloubový)	300 000 Kč
Nízkopodlažní (od 10,7 do 13 m)	200 000 Kč
Nízkopodlažní (od 7,5 do 10,7 m)	100 000 Kč

U standardního autobusu s plošinou pro nástup osob na invalidním vozíku se stanovená dotace zvyšuje o fixní částku vyhlášenou Ministerstvem dopravy na příslušný kalendářní rok. Na rok 2010 je stanovena fixní částka ve výši 100 tis. Kč.

Výše dotace - Podprogram na obnovu vozidel městské hromadné dopravy

Výše dotace na obnovu nízkopodlažních autobusů MHD je stanovena fixní částkou, vyhlášenou Ministerstvem dopravy na příslušný kalendářní rok. Zároveň platí, že dotace nesmí překročit 25 % ceny autobusu.

<i>Délka autobusu</i>	<i>Fixní výše dotace</i>
Nad 13 m nebo kloubový	1 200 000 Kč
Nad 10,7 m do 13 m	800 000 Kč
Nad 7,5 m do 10,7 m	600 000 Kč
Do 7,5 m	400 000 Kč

Výše dotace - alternativní pohon a informační systém u obou podprogramů

U autobusu na alternativní pohon se stanovená dotace zvyšuje o fixní částku vyhlášenou Ministerstvem dopravy na příslušný kalendářní rok. Maximální navýšení dotace může být do výše 50 % rozdílu pořizovací ceny naftového autobusu a autobusu na alternativní pohon. Na rok 2010 je stanovena fixní částka ve výši 500 000 Kč.

5.4.2 Základní podmínky pro poskytnutí podpory

- a) Příjemce dotace je povinen při čerpání dotace postupovat v souladu se zákonem č. 218/2000 Sb., o rozpočtových pravidlech a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů a vyhlášky č. 560/2006 Sb., o účasti státního rozpočtu na financování programů reprodukce majetku.
- b) Příjemce dotace je povinen podporu použít pouze k účelu, na který mu byla poskytnuta.
- c) Dotace je poskytována pouze na pořízení nových vozidel z výroby formou investičního nákupu. Dotaci nelze použít na úhradu DPH.
- d) Dotace je uvolňována formou „Příkazu k převodu prostředků na účet příjemce dotace“ průběžně po uskutečněním nákupu nového vozidla a po předložení následujících dokladů: Kopie technického průkazu vozidla, dokumentace zadání veřejné zakázky podle zákona č. 137/2006 Sb., o veřejných zakázkách v platném znění (týká se nadlimitních zakázek), kopie kupní smlouvy, kopie faktury a doklad o úhradě této faktury. Částka uhrazené faktury musí být min. ve výši poskytnuté dotace.

Dotace je ukazatelem závazným. Náklady na pořízení dopravních prostředků jsou ukazatelem orientačním a mohou se lišit v závislosti na zvoleném způsobu financování. Zdroje financování dopravních prostředků (vlastní zdroje účastníka programu nebo úvěr) jsou ukazateli orientačními a mohou se lišit v závislosti na probíhajícím způsobu financování.

- e) Dotace je poskytována pouze na vozidla, která splňují ustanovení vyhlášky č. 175/2000 Sb., o přepravním řádu veřejné drážní a silniční osobní dopravy, zejména ustanovení § 11 odst. 2 (umožnění přepravy alespoň 1 dětského kočárku s dítětem). Ustanovení se vztahuje na všechny autobusy pořizované se státní účastí.
- f) Vozidla pořízená s dotací ze státního rozpočtu musí být využívána na zabezpečení dopravní obslužnosti v režimu smlouvy o závazku veřejné služby po dobu minimálně 6 let. Tato podmínka je pro účely tohoto programu splněna tehdy, ujede-li autobus při zabezpečování dopravní obslužnosti v režimu smlouvy o závazku veřejné služby více jak 80 % kilometrů z celkového počtu ujetých km ve veřejné autobusové dopravě ve sledovaném období (k 31.12. příslušného roku).
- g) O naplnění podmínky využití autobusů za období příslušného kalendářního roku je dopravce po dobu 6ti let povinen informovat objednatele dopravy a zároveň Ministerstvo dopravy formou předkládání podkladů o využití těchto autobusů

na poskytování služeb v režimu smlouvy o závazku veřejné služby nejpozději do 31. března následujícího roku. Dopravce je povinen zajistit proběh autobusů pořízených s dotací ze státního rozpočtu na výkonech poskytovaných v režimu smlouvy o závazku veřejné služby v minimálním rozsahu 30 000 km v období celého kalendářního roku po celé období dle písmena e) pravidel. První rok se posuzuje podle data uvedení autobusu do provozu. V odůvodněných případech je Ministerstvo dopravy na základě žádosti dopravce odsouhlasené objednatelem dopravy oprávněno splnění této podmínky prominout.

- h) Dotace nemůže být poskytnuta dopravcům, kteří nemají vypořádány všechny závazky vůči státnímu rozpočtu (k 31.12. předchozího roku). Za závazky vůči státnímu rozpočtu se považují závazky vůči finančnímu úřadu, zdravotním pojišťovnám, správě sociálního zabezpečení a celní správě.
- i) Majetek, který bude pořízen se státní účastí, nesmí být po dobu šesti let převeden příjemcem dotace na jiného majitele nebo dán za předmět zástavy, s výjimkou realizace nákupu autobusu formou splátkového prodeje, kdy však zajišťovací instrumenty musí respektovat ostatní podmínky programu. V případě realizace zástavního práva je dopravce povinen dotaci vrátit. Výjimku tvoří dále případy, kdy dopravce majetkově převede autobusy pořízené se státní dotací na nabyvatele, který převezme zabezpečování dopravní obslužnosti na území České republiky, bude nadále plnit podmínky Programu a prokazatelně dokladuje, že v kupní ceně je poskytnutá dotace odečtena.
- j) Užití dotace je účelově vázáno a závazné parametry, termíny a podmínky čerpání účelově vázaných výdajů státního rozpočtu jsou nedílnou součástí vydaného Rozhodnutí.
- k) Výběr dodavatele zakázky musí být proveden v souladu se zákonem č. 137/2006 Sb., o veřejných zakázkách, v platném znění.
- l) Dotace musí být vyčerpána v kalendářním roce, ve kterém byla přidělena, nejpozději do termínu stanoveného správcem programu.
- m) Dotace podléhá zúčtování za příslušný rok v souladu s vyhláškou č. 52/2008 Sb., kterou se stanoví zásady a termíny finančního vypořádání vztahů se státním rozpočtem a v souladu s pokyny Ministerstva financí pro zúčtování prostředků státního rozpočtu. Dotace je nepřevoditelná mezi podnikatelskými subjekty a nevyčerpaná dotace je nepřevoditelná do roku následujícího.

- n) Na poskytnutí dotace není právní nárok.
- o) Dotaci nelze poskytnout subjektu, na který byl v okamžiku podání žádosti o podporu podán návrh na vyhlášení konkursu, soudně vyhlášena exekuce či se nachází v likvidaci.
- p) Dotace na investiční nákup nemůže být kumulována s podporou z jiných místních, regionálních či vnitrostátních režimů nebo režimů Společenství za účelem pokrytí týchž způsobilých nákladů.
- q) Dopravce nesmí využívat autobusy pořízená s dotací ze státního rozpočtu na výkony poskytované v režimu smlouvy o závazku veřejné služby v případě, že s ním ze strany příslušného objednatele veřejné dopravy byla uzavřena smlouva na základě nabídkového řízení, které se zúčastnili i jiní dopravci. Tato podmínka se neuplatní v případě, že v zadávacích a hodnotících podmínkách bylo poskytování dotací podle tohoto programu zohledněno tak, aby bylo zajištěno rovné a nediskriminační postavení dopravců, kteří předložili své nabídky s a bez využití autobusů pořízených se státní dotací.
- r) Nesplnění podmínek pro čerpání dotace, obsažených v bodech b) f) h) i) bude posuzováno jako porušení rozpočtové kázně podle § 44a odst. 3, bod a zákona č. 218/2000 Sb., ve znění pozdějších předpisů.
- s) Nesplnění podmínek pro čerpání dotace, které jsou obsaženy v bodech c) e) g) k) l) o) p) q) bude posuzováno za porušení rozpočtové kázně podle § 44a odst. 4, bod a zákona č. 218/2000 Sb., ve znění pozdějších předpisů.

5.5 Ekonomické zhodnocení investičních nákladů u autobusů

Toto hodnocení je určeno několika důležitými faktory, které jsou shrnuty v následujících bodech:

a) Náklady na pohonné hmoty

Zahrnuje spotřebu pohonných hmot, tj. spotřebu nafty, LPG, CNG, oleje, případně benzínu, maziv a příměsí na kilometry ujeté v autobusové dopravě za celou účetní

jednotku. Do této položky patří i spotřeba pohonných hmot na vytápění vozidel v zimním období dle norem. U CNG autobusů je tato položka zcela jednoznačně nejdůležitější a to nejen vzhledem k ceně zemního plynu, ale dále i u CNG autobusů není potřebná tak častá výměna oleje, protože u nich olej neztrácí tak rychle své vlastnosti.

b) Pneumatiky

Zahrnuje pouze materiálové náklady na nové pneumatiky, protektory a příslušenství (duše, ventilký).

c) Ostatní přímý materiál

Zahrnuje ostatní přímý materiál spotřebovaný přímo na autobus (např. náhradní díly a materiál na běžné opravy, spojovací materiál, elektromateriál, čisticí a mycí potřeby, nemrznoucí směsi, uniformy, pracovní a ochranné pomůcky).

d) Přímé mzdy

Zahrnuje náklady na mzdy řidičů, technicko-hospodářských pracovníků plně řídících autobusovou dopravu a ostatních zaměstnanců zabezpečujících provoz autobusové dopravy (revizoři, přepravní pokladny, informátoři, průvodčí, uklízečky, pracovníci autobusových nádraží atd.). Nesmí zde být účtovány mzdy režijních a dalších pracovníků, ty musí být zahrnuty v položce „režijní náklady“.

e) Odpisy

Zahrnuje účetní odpisy autobusů, účetní odpisy hmotného investičního majetku, který je spojen s linkovou autobusovou dopravou (odbavovací strojky, odpisy budov) a účetní odpisy investičního majetku souvisejícího s informačním systémem, předprodejem jízdenek a pokladní činnosti. U CNG jsou odpisy oproti dieselovým autobusům větší z důvodu jejich vyšší pořizovací ceny. Odpisy se sníží při poskytnutí státní dotace, kdy je pak odpis určen z pořizovací ceny snížené právě o obdržené dotace.

f) Leasing (pronájem)

Obsahuje náklady na leasing na dopravní prostředky a zařízení související s provozem veřejné linkové dopravy časově rozlišené dle platných leasingových smluv, případně pronájmy základních prostředků od externích pronajímatelů.

g) Opravy a udržování

Zahrnuje náklady za provedené externí opravy vyjádřené fakturami, nebo opravy ve vlastní režii snížené o spotřebu materiálu.

h) Silniční daň

Zahrnuje sazby vyhlášené zákonem o silniční dani. V současné době jsou autobusy zabezpečující linkovou osobní vnitrostátní přepravu od silniční daně osvobozeny za předpokladu, že ujedou pro tento účel více než 80% kilometrů z celkového počtu kilometrů jimi ujetých ve zdaňovacím období. Na tomto řádku se uvádí také náklady na mýtné.

i) Pojištění zákonné odpovědnosti

Obsahuje náklady na pojistné ze zákonné odpovědnosti za provoz autobusů podle platného zákona vztažené na linkovou autobusovou dopravu, včetně nákladů havarijního pojištění. Součástí je i povinné pojistné za pracovní úrazy a nemoci z povolání zaměstnanců, pojištění sedadel a poplatek za dálniční známky.

j) Odvody do fondů

Tato kalkulační položka zahrnuje příspěvky hrazené zaměstnavatelem z mezd vyplacených zaměstnancům. Náklady a tržby z přepravní činnosti ve výši stanovené příslušnými předpisy. Jde o pojistné na sociální zabezpečení, příspěvek na státní politiku zaměstnanosti, pojistné na zdravotní a nemocenské pojištění. Do kalkulace nesmí být zahrnovány náklady nad rámec zákonem stanovené povinnosti.

k) Jiné ostatní přímé náklady

Obsahuje ostatní přímé náklady, které lze vztáhnout k autobusové dopravě. Jde zejména o náklady na provoz nocležení, náklady na provoz autobusových nádraží a předprodejních zařízení, školení řidičů, udržování a provoz zastávek a označnicků, informatiku, AMS, provoz služebních vozidel, úroky z úvěrů včetně poplatků, technické prohlídky autobusů, pronájem infrastruktury vztahující se k veřejné linkové dopravě, poplatky za užívání autobusových nádraží.

Závěr

Cílem bakalářské práce bylo nastínění do problematiky hybridních pohonů v autobusové dopravě. Shrnuje důvody pro použití hybridních pohonů, vývoj emisních předpisů a norem, typy hybridních pohonů používaných u autobusů a přehled světově používaných typů autobusů s hybridními pohony s důrazem na český světově unikátní autobus s trihybridním pohonem - TriHyBus. Dále je v ní shrnuto ekonomické zhodnocení hybridních a CNG autobusů oproti klasickým dieselovým autobusům.

Nasazování autobusů s hybridními pohony znamená výbornou alternativu dnešním spalovacím motorům. A to především z důvodu produkce škodlivých zplodin, které velmi negativně ovlivňují naše životní prostředí a celosvětové klima globálně, což je jistě velký argument pro to, dát hybridní technologii zelenou. Dá se předpokládat, že produkce a vývoj hybridní technologie bude hrát v budoucnu stále větší roli, jelikož jsou stále větší tlaky na snižování produkce škodlivin v ovzduší. Vše je vázáno ale i informovaností dopravních podniků a státních programů pro podporu nákupu těchto autobusů, protože dopravní podniky a ostatní provozovatelé autobusů s hybridními pohony se bez státních dotací a podpor prakticky neobejdou. Provoz hybridních autobusů je sice oproti dieselovým autobusům velmi šetrný a dochází ke značné úspoře pohonných hmot, nicméně tu narážíme na problém vysoké pořizovací ceny a bez státních dotací by prakticky nedošlo k návratnosti investic ani za celou dobu životnosti autobusu. Podíl hybridních autobusů v dnešním celosvětovém provozu tvoří jen malé procento. V blízké budoucnosti ale můžeme předpokládat, že s vyšší produkcí těchto autobusů bude klesat i jejich pořizovací cena. Věřím, že nákup autobusů s hybridním pohonem není rozhodně krokem zpět a jejich vývojem by se měli autobusoví výrobci začít primárně zabývat, neboť v hybridní technologii vzhledem k dopadu na životní prostředí spočívá veliký potenciál.

Seznam použité literatury:

- [1] Vlk, F. : Alternativní pohony motorových vozidel. Brno: Nakladatelství Vlk, 2004, ISBN 80-239-1602-5
- [2] Vlk, F. : Koncepce motorových vozidel. Brno: Nakladatelství Vlk, 2001, ISBN 80-238-5276-0
- [3] Katedra elektrických pohonů a trakce ČVUT v Praze [on-line], URL:<<http://motor.feld.cvut.cz/>>
- [4] Automatizace.cz – Perspektivy hybridních vozidel [on-line], URL:<<http://www.automatizace.cz/article.php?a=1544>>
- [5] Autorevue – emise škodlivin [on-line], URL:<<http://www.autorevue.cz/default.aspx?article=7043>>
- [6] News.auto.cz [on-line], URL:<<http://news.auto.cz/uzitkove>>
- [7] Automotorevue [on-line], URL:<<http://www.automotorevue.cz/truck/>>
- [8] Wikipedia [on-line], URL:< <http://cs.wikipedia.org>>
- [9] Technická univerzita v Liberci – studijní texty [on-line], URL:<<http://www.ksd.tul.cz/studenti/texty/VOZMOT.pdf>>
- [10] URL:<http://www.expo2005.or.jp/en/venue/transport_fchv.html>
- [11] URL:< <http://www.h2bus.cz>>
- [12] Autobusové noviny [on-line], URL:<<http://www.autobusovenoviny.cz/>>
- [13] URL: <<http://www.solarisbus.pl/>>
- [14] URL:<http://www.mdcz.cz/cs/Legislativa/Programy+a+projekty/Program_podpory_obnovy_vozidel/default.htm>
- [15] URL: <http://technet.idnes.cz/do-ulic-vyrazil-prvni-cesky-autobus-na-vodik-bude-mit-vlastni-cerpaci-18u-/tec_technika.asp?c=A090626_155912_tec_technika_rja>

Seznam obrázků:

Obr. 3.1. Paralelní koncepce [4]

Obr. 3.2. Sériová koncepce hybridního automobilu [4]

Obr. 3.3. Řídící a výkonové systémy sériového hybridního automobilu [4]

Obr. 4.1. Volvo 7700 Hybrid [6]

Obr. 4.2. Umístění hybridní technologie pod čtveřicí sedadel [6]

Obr. 4.3. Scania OmniLink ve Stockholmu [7]

Obr. 4.4. Solaris Urbino 18 Hybrid [7]

Obr. 4.5. Rozmístění elementů hybridního pohonu v autobusu Solaris 18 hybrid [13]

Obr. 4.6. Mercedes-Benz Citaro FuelCELL Hybrid [6]

Obr. 4.7. Hybridní autobus GM-Allison [6]

Obr. 4.8. Orion VII [8]

Obr. 4.9. Autobus Eletra v São Paulu [8]

Obr. 4.10. FCHV-BUS2 [10]

Obr. 4.11. TriHyBus [11]

Obr. 4.12. Palivový článek [15]

Obr. 4.13. Schéma Trihybusu [11]

Obr. 4.14. Vizualizace provozních dat pro cestující [11]

Obr. 4.15. Vodíková čerpací stanice [12]

Obr. 4.16. Tankování vodíku [12]

Seznam tabulek:

Tab. 1. Kategorie vozidel

Tab. 2. Emisní limity výfukových škodlivin vozidel M2, M3, N2 a N3

Tab. 3. Emisní limity podle testu ETC [g/kWh]

Tab. 4. Srovnání cen autobusů Orion

Tab. 5. Porovnání nákladů na 1 km jízdy

Seznam grafů:

Graf. 1. Návratnost investic na koupi CNG autobusu oproti dieselovému autobusu v závislosti na ceně nafty [9]