



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

VYUŽITÍ A BUDOUCNOST ALTERNATIVNÍHO POHONU AUTOMOBILŮ

USAGE AND FUTURE IN ALTERNATIVE DRIVE OF AUTOMOBILE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

DAVID ŽALMAN

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. RADIM DUNDÁLEK, Ph.D.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2011/12

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): David Žalman

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Stavba strojů a zařízení (2302R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Využití a budoucnost alternativního pohonu automobilu

v anglickém jazyce:

Usage and Future in Alternative Drive of Automobile

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Osvojení základních znalostí zadaného tématu. Stanovení vývojových trendů.

Cíle bakalářské práce:

Uvedení specifických vlastností a zvláštností automobilů s alternativním pohonem. Zhodnocení výhod a nevýhod alternativních pohonných jednotek. Zamyšlení nad budoucností pohonů tohoto charakteru.

Seznam odborné literatury:

- [1] VLK, František. Alternativní pohony motorových vozidel. 1. vyd. Brno : Prof.Ing.František Vlk, DrSc., 2004. 234 s. ISBN 80-239-1602-5.
- [2] VLK, František. Koncepce motorových vozidel : Koncepce vozidel. Alternativní pohony. Komfortní systémy. Řízení dynamiky. Informační systémy. 1. vyd. Brno : VLK, 2000. 367 s. ISBN 80-238-5276-0.
- [3] GUPTA, Ram B. Hydrogen fuel : production, transport, and storage. Boca Raton : CRC Press, 2009. 611 s. ISBN 978-142-0045-758.
- [4] Internet

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Radim Dundálek, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/12.

V Brně, dne 31.10.2011



prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
Ředitel ústavu



prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan



ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce je uvést přehled alternativních pohonů silničních vozidel a jejich dopad na ekologii. Hlavní část práce tvoří popis specifických vlastností a zvláštností těchto pohonných jednotek, jejich výhody, nevýhody a uvádí příklady některých vozidel. V závěru práce je nastíněno, jakým směrem by se mohl automobilový průmysl v následujících letech ubírat.

KLÍČOVÁ SLOVA

automobil, alternativní, článek, pohon, hybridní, palivový, spalovací, motor

ABSTRACT

The aim of this bachelor thesis is to state an overview of alternative drive of automobiles and their effect on ecology. The main part consists of a description of specific characteristics and peculiarities of power units, their advantages, disadvantages and shows examples of some vehicles. In the conclusion of the thesis it is foreshadowed in what way the car industry could proceed in the subsequent years.

KEYWORDS

automobile, alternative, cell, drive, hybrid, fuel, combustion, engine



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŽALMAN, D. *Využití a budoucnost alternativního pohonu automobilu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 41 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Radim Dundálek, Ph.D.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením pana Ing. Radima Dundálka, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 25. května 2012

.....

David Žalman



PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto především vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Radimu Dundálkovi, Ph.D., za cenné rady, připomínky, vstřícné jednání a odborný dohled nad mojí prací.

OBSAH

Úvod	9
1 Motivace	10
2 Z historie do současnosti	11
3 Problémy s běžnými spalovacími motory	15
3.1 Vedlejší účinky spalovacích motorů na životní prostředí	15
3.2 Omezené zdroje energie	15
3.2.1 Spotřeba energie	15
3.2.2 Účinnost paliva	16
3.2.3 Recyklace	16
3.3 Budoucnost ropy	16
4 Elektrický pohon	17
4.1 Elektromotor	18
4.1.1 Stejnoseměrné motory	19
4.1.2 Střídavé motory	19
4.2 Bateriové systémy	19
4.3 Příklady elektromobilů	21
5 Hybridní pohon- úspěch nebo pouhý klam	22
5.1 Rozdělení hybridních pohonů podle toku výkonu	23
5.1.1 Sériové uspořádání hybridních pohonů	23
5.1.2 Paralelní uspořádání hybridních pohonů	25
5.1.3 Sériové – paralelní uspořádání hybridních pohonů	26
5.1.4 Smíšené uspořádání hybridních pohonů	26
5.2 Rozdělení hybridních pohonů podle stupně hybridizace	27
5.2.1 Micro-hybrid	27
5.2.2 Mild-hybrid	27
5.2.3 Full-hybrid	28
6 Nejperspektivnější druh moderního pohonu	29
6.1 Elektrická vozidla s palivovými články	30
6.1.1 Princip funkce a stavba palivového článku	30
6.1.2 Vodík a jiné druhy paliva	31
6.1.3 Základní typy palivových článků	32
6.1.4 Shrnutí	34
6.2 Netradiční konstrukce spalovacích motorů	35
Závěr	37

Úvod

Dvě největší rizika pro životní prostředí, která stojí před lidstvem dnes, jsou znečišťování ovzduší a globální oteplování. Oba problémy jsou úzce spojeny s naší aktuální závislostí na fosilních palivech. Emise produkované spalováním uhlovodíků způsobují v dnešní době mnohem více zdravotních problémů díky urbanizaci světové populace. Musíme proto zamezit tvorbě oxidu uhličitého, který vzniká v největším množství spalováním fosilních paliv a ohrožuje Zemi - jediné dosud známé místo, které umožňuje lidský život. Řešením tohoto problému jsou alternativní pohony.

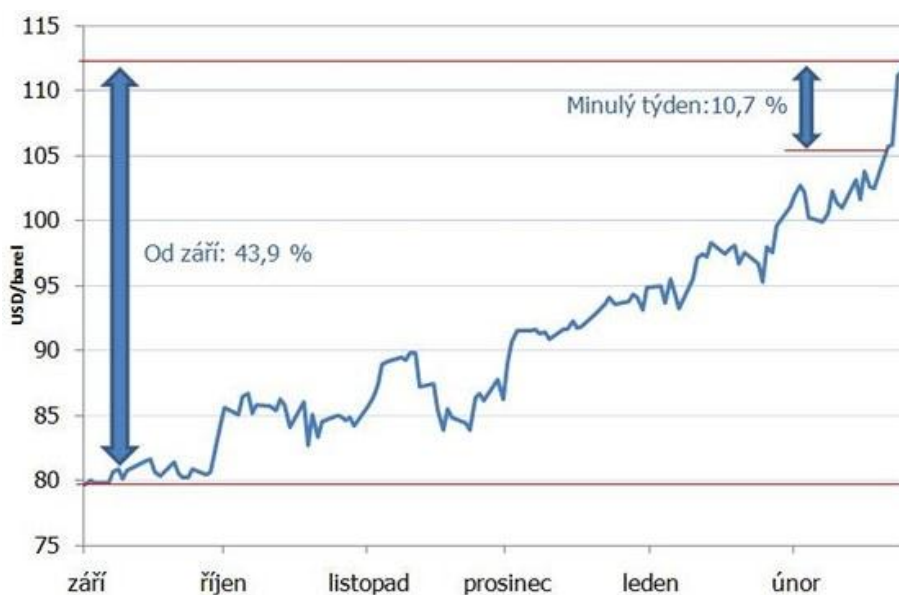


Obr. 1 BMW i8 hybrid [20]

1 MOTIVACE

V dnešní době je člověk na dopravních prostředcích zcela závislý. Největší podíl v dopravě mají automobily, drtivá většina z nich využívá jako palivo ropné produkty-naftu, benzín, LPG. Díky alternativním pohonům jsme schopni tyto produkty fosilních paliv, které znečišťují naši planetu, nahradit. Podle odhadů odborníků se spotřeba ropy pohybuje okolo 88 milionů barelů za den. Když tohle neskutečné množství přepočítáme na tuny, hovoříme o spotřebě kolem 3,5 miliard tun za rok. Cena ropy neustále roste a v poslední době je tempo růstu závratné. Dle mých odhadů budou světová ložiska ropy vytěžena někdy v rozmezí let 2100-2150. Abychom předešli tomuto faktu, potřebujeme tenhle problém nutně vyřešit. Vývoj alternativních pohonů je v dnešní době jedním z předních úkolů všech světových automobilek, protože dobře vědí, že tato inovace v automobilovém průmyslu je nutná a nevyhnutelná.

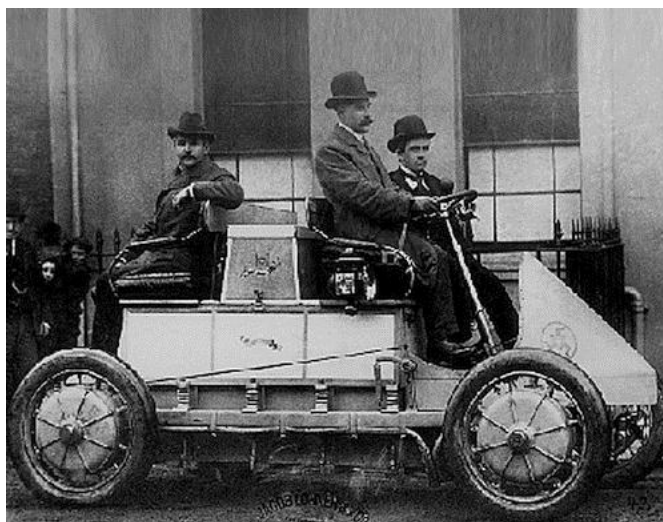
Vybral jsem si téma, které se týká využití a budoucnosti alternativních pohonů, protože si myslím, že v automobilovém průmyslu patří mezi nejzásadnější změny, které už z části nastaly, ale hlavně nastanou za celou dobu vývoje spalovacích motorů. Zpracováním této problematiky, bych se chtěl obohatit o znalosti, které se týkají historie alternativních pohonů automobilů, jejich současnosti, problémů s nimi spojenými, ale také s řešením a reálným využitím těchto pohonných jednotek. Také bych chtěl, aby mě téma o alternativních pohonech automobilů posunulo dál v chápání dané problematiky, protože po dokončení prvního stupně studia na VUT chci pokračovat studiem na Ústavu automobilního a dopravního inženýrství.



Obr. 2 Ceny ropy Brent od září 2010 do února 2011 [50]

2 Z HISTORIE DO SOUČASNOSTI

Jeden z prvních úspěšných hybridních vozů byl automobil Mixte, navržený a vyvinutý konstruktérem českého původu Ferdinandem Porsche (zaměstnanec firmy Lohner Coach Factory) již v roce 1901. Mnohé z charakteristik tohoto hybridního vozu jsou stále běžné i u hybridních vozů současnosti. Vůz byl na svoji dobu tak dobře navržen, že v roce 1901 samotný Ferdinand Porsche vyhrál Exelberg Rally. Koncepce vozu, tak jak ji konstruktér pojal, byla na svoji dobu opravdu nevídaná a pokroková. Zážehový motor využil k pohonu dynama, které nabíjelo akumulátory, a tím vytvořil zcela novou podobu pohonné jednotky, dnes známou jako sériový hybrid. Energie z akumulátorů byla přenášena do elektromotorů v předních kolech. Takto zkonstruované vozidlo nepotřebovalo ani převodovku či řetěz a dle studie Thomase Scholze dosahovalo závratné účinnosti nad 80%. Zajímavostí je, že na podobném principu fungují dnešní hybridy (Opel Ampera, Volvo ReCharge), a to se nacházíme o více než 100 let později. To dokazuje genialitu zmíněného konstruktéra Ferdinanda Porsche.



Obr. 3 automobil Mixte [35]

V roce 1915 společnost Woods Motor Vehicle vytvořila systém pohonu „Dual Power“. V podstatě šlo o paralelní hybrid, který pro pohon vozu při nízké rychlosti využíval elektromotor a při potřebě vyšší rychlosti nasadil benzínový agregát. Dual Power bylo více než jednorázové vozidlo, protože do roku 1918 bylo vyrobeno více než 600 kusů. Hybridy vyráběla například také Galt Motor Company z kanadského Ontaria. Všem ale nakonec učinila přítrž levná nafta, vylepšení spalovacího motoru, elektrické startéry a především výrobní linka Henryho Forda, která nezastavitelně chrlila Model T. Elektromobily, parní i hybridní auta začaly ustupovat do pozadí. Benzin vybuchující ve válcích vystačil automobilovému světu až do roku 1965, tedy prakticky čtyři dlouhá desetiletí. [35]

V 60. a 70. letech 20. století se na scéně objevil zhýčkaný zastánce a designér hybridních vozidel Victor Wouk. Jeho práce, z důvodu vytvoření nespočetného množství hybridních vozidel a označení jako spoluvynálezce elektromobilu, mu vynesla titul kmotra - duchovního otce hybridů. V roce 1976 dokonce přeměnil Buick Skylark z benzínu na hybrid, ale jeho práce byla pozastavena z důvodu skandálu v rámci agentury na ochranu životního prostředí. Tento skandál v rámci agentury měl na svědomí jistý Eric Stork, který od počátku svým inženýrům nařídil, že hybrid Buick Skylar z firmy Petro-Electric Motors nesmí projít testem.

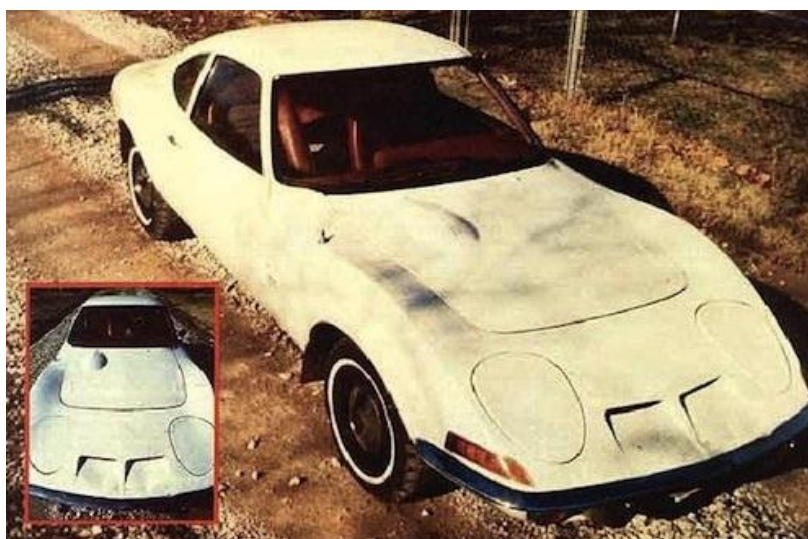
Hybridní auta prostě v této době (70. léta) neměla žádnou perspektivu, protože neexistovala žádná vládní podpora pro jejich vývoj.



Obr. 4 Victor Wouk a jeho Buick Skylar [32]

Moderní hybridní vozy spoléhají na regenerativní brzdění. Když automobil se standardním spalovacím motorem zabrzdí, ztratí hodně energie, protože ji odvede ve formě tepla do atmosféry. Rekuperační brzdění znamená, že pro zpomalení auta je použit elektromotor, který absorbuje energii a využívá ji k nabíjení baterií uvnitř vozu.

Rekuperační brzdění bylo poprvé navrženo v roce 1978 Arthurem Davidem. Použil na svoji dobu standardních komponent a přeměnil si svůj Opel GT za pouhý měsíc práce a necelých 1500 dolarů na plně funkční hybrid. Plány na přestavbu jsou v dnešní době na internetu i v různých automobilových časopisech volně k dispozici. Výsledkem Arthura bylo nádherné auto se spotřebou 3,1 l/100 km.



Obr. 5 Upravený Opel GT Arthurem Davidem 1978 [35]

V roce 1989 uvedlo Audi první experimentální verzi vozidla Audi Duo. Jednalo se o plug-in paralelní hybrid založený na modelu Audi 100 Avant Quattro. Ve městě jezdilo auto na elektromotor pohánějící zadní osu, o pohon přední nápravy se staral 2,3l pětiválec s výkonem 136 koní. Řidič si mohl zvolit, zda chce zrovna jet na elektřinu, nebo na normální motor. [35]



Obr. 6 Audi Duo hybrid 1989 [27]

Rok 1992 byl pro automobilový svět klíčový. Japonská automobilka Toyota ohlásila světu program „Smlouva o pronájmu Země“, ve kterém se zavázala vyvíjet automobily šetrné k životnímu prostředí a co s nejnižšími emisemi. Během pouhých pěti let od tohoto data vznikl první kousek, dnes už legendární vůz Toyota Prius. Do konce roku 2011 se prodalo již přes milion kusů a nyní automobilka vstupuje se svoji 3. generací na český trh. Byli to právě Japonci, kdo poprvé v moderní době a v masovém měřítku spojil pohon auta s elektřinou. Během let 1997-2002 Japonci světu ukázali, že právě oni jsou ve výrobě hybridů číslo jedna. Předvedli nový model Hondy Insight, rozšířili prodej Toyoty Prius i do Spojených států amerických a představili světu hybrid Honda Accord. [35]



Obr. 7 První generace hybridu Toyota Prius [34]

Za posledních 10 let se vývoj hybridů, elektromobilů a všeobecně automobilů poháněných alternativním pohonem vyrobilo nespočetné množství a kvalita technologií v automobilním průmyslu se velice zlepšila. Nyní přichází na scénu velmi dlouho očekávaný vůz z americké automobilky Tesla, se sídlem v Kalifornii, Tesla Model S. Co dělá Model S tak výjimečným? Zaprvé, jeho vizuální dojem je úžasný. Časopis „The New York Times“ porovnává tento model s výrazným Maserati Quattroporte, které se prodává ve více jak šesti provedeních. Zadruhé, ve voze se nachází pět míst s možností vyklopení dalších dvou sedaček pro děti. Klíčovým prvkem designu je rovná podlaha, ve které jsou zabudovány baterie, motory a elektrické moduly. Je to brilantní ukázka možnosti, jak udělat každý detail vozu funkční a využitelný.



Obr. 8 Tesla Model S [40]

Faktem je, že Tesla Model S je opravdový elektrický automobil, který umožňuje dojezd kolem 500 km, zrychlení z nuly na 100 km/hod je za pouhých pět vteřin a produkované emise jsou nulové. Ač se to zdá být neuvěřitelné, je to pravda. Dalším údajem o kvalitě je také zpráva o tom, že auto se doposud nezačalo ani sériově vyrábět a automobilka hlásí, že na rok 2012 je vyprodáno, což znamená v přepočtu asi 2500 kusů.



Obr. 9 Tesla Model S [47]

3 PROBLÉMY S BĚŽNÝMI SPALOVACÍMI MOTORY

Po celém světě tvoří automobily skupinu, která díky svým emisím znečišťuje naši planetu v obrovském měřítku. Celosvětově je v provozu přes 600 milionů automobilů, což vede v důsledku znečišťování k celoplanetárnímu problému. V dnešní době, v době inovací, obrovských možností a skvělé techniky, je pouze na nás, jak se k tomuto problému postavíme.

3.1 VEDLEJŠÍ ÚČINKY SPALOVACÍCH MOTORŮ NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

Spalovací motor je hlavní odpovědný zdroj za obrovské množství nebezpečných spalin produkovaných vozidlem. Z tohoto důvodu je užívání jakéhokoliv automobilu považováno za aktivitu, která znečišťuje naši planetu. Jak může být auto zodpovědné za ničení našeho životního prostředí? Každé auto na cestě k tomu nejen přispívá, ale teprve součet všech vyprodukovaných emisí je hlavní příčinou globálního problému. Klasický spalovací motor potřebuje k chodu vzduch (kyslík a dusík) a palivo (uhlovodíky). Hlavními produkty procesu jsou oxid uhličitý, oxid uhelnatý, oxidy dusíku a nespálené uhlovodíky. Tyto škodlivé látky se chovají jako sklo kolem planety, které propouští sluneční paprsky k nám na povrch, ale některé látky infračerveného záření nepustí již zpět. Tento jev je obecně známý jako skleníkový efekt, který způsobuje globální oteplování a s tím spojené zvedání hladiny moří, tání ledovců a další. Avšak spalovací motory nejsou tím nejzásadnějším ničitelem životního prostředí, ale velice se na tomhle jevu podílí. Proto bychom se měli naučit hledat řešení, která nám pomohou tyto problémy řešit, nebo alespoň ve značném měřítku zmírnit.

Podle mého názoru je řešení více, nicméně je na nás jakou cestu si zvolíme. První možností je jezdit méně, ale hodně lidí se na tuhle možnost dívá velmi neochotně. Kolikrát ujedete desítky kilometrů a úplně zbytečně? Více lidí by mělo podle mě využívat hromadnou městskou dopravu a nejezdit samostatně v automobilech, protože i tohle by velice pomohlo. Druhou možností je užívat modernější motory, které jsou úspornější, ale hlavně jsou mnohem více šetrné k životnímu prostředí než motory vyráběné dříve. Také kdybychom nekupovali zbytečně velká vozidla, ale koupili si menší a úspornější, výsledek by byl také znát. Velkým přínosem by bylo, kdyby začalo více lidí využívat k transportu hybridní vozidla, či jiné alternativní pohony.

3.2 OMEZENÉ ZDROJE ENERGIE

S nezastavitelně rostoucí cenou paliv se spotřeba energie stává pro mnohé z nás velmi důležitým faktorem. Většina zdrojů, na kterých jsme závislí, je neobnovitelná. To znamená, že nastane den, kdy budou zdroje vyčerpány navždy. Naštěstí existuje mnoho cest, jak můžeme změnit náš životní styl a tím pomoci k uchování těchto zdrojů.

3.2.1 SPOTŘEBA ENERGIE

Více jak jedna polovina celosvětově vyprodukované elektřiny je vyrobena z fosilních paliv. Šetřením a redukováním spotřeby elektřiny můžeme potřebné množství fosilních paliv značně redukovat. Jednoduché vypnutí světel, či jakéhokoliv elektrického zařízení, které právě nepoužíváme, nám pomůže ušetřit energii i peníze. [25]

3.2.2 ÚČINNOST PALIVA

Dodatečné úspory energie přichází i z motorových vozidel. Hůře udržovaná auta dosáhnou kratších vzdáleností na litr benzínu či nafty. Pravidelné prohlídky a úpravy jsou dobré pro naše vozy, ale i pro životní prostředí. Správně nahuštěné pneumatiky, zrychlování pomalu namísto rychle, odstranění zbytečné váhy, tohle všechno se projevuje na snížení spotřeby paliva. Pokud je naše vozidlo staré, měli bychom zvážit výměnu za novější a úspornější. [25]

3.2.3 RECYKLACE

Kovy, plasty, papír, zkrátka všechny tyhle produkty vyžadují nějakou energii na přeměnu v užitečné věci. Pokud je vyhodíte na skládku, nové materiály musí být vyprodukovány za použití cenných energetických zdrojů, například ropy. Proto bychom měli veškerý odpad recyklovat, a tím se vyhnout možným negativním dopadům na životní prostředí. [25]

3.3 BUDOUCNOST ROPY

Ropa je v současnosti nejdůležitějším nosičem energie světového hospodářství. [42] Budoucnost ropy je možné podle mě shrnout ve čtyřech bodech.

- Množství ropy je omezené a jednoho dne dojde.
- Když se produkce ropy dostane na hranici maxima, ekonomické následky mohou být horší než během velké ekonomické krize v roce 1929.
- Světová produkce ropy je již ve stavu poklesu, pouze to zatím nepoznáváme.
- Nové technologie nám umožní najít nové, prozatím neobjevené zásoby tohoto černého zlata, a tím se uspokojí krátkodobě rostoucí poptávka.

Příštích 100 let lze ještě počítat s energií získávanou z přírodních uhlovodíků. Dnes neexistuje alternativa tohoto fosilního paliva, zvyšující se cena vytváří dobré podmínky, aby se nové a efektivní zdroje vyvíjely. Nejspíše to nebude jeden zdroj, ale kombinace několika forem zdrojů energie. Zbytky těžené ropy pak budou využívány ne jako palivo, ale jako kvalitní surovina chemického průmyslu. [45]

Slovo nevyhnutelný je dle mého názoru pro popis budoucnosti ropy nejvhodnější. Někdy v budoucnosti ropa nebude dostupná za žádnou cenu a změna na ekonomiku bez ropy nebude volitelná, nýbrž povinná.

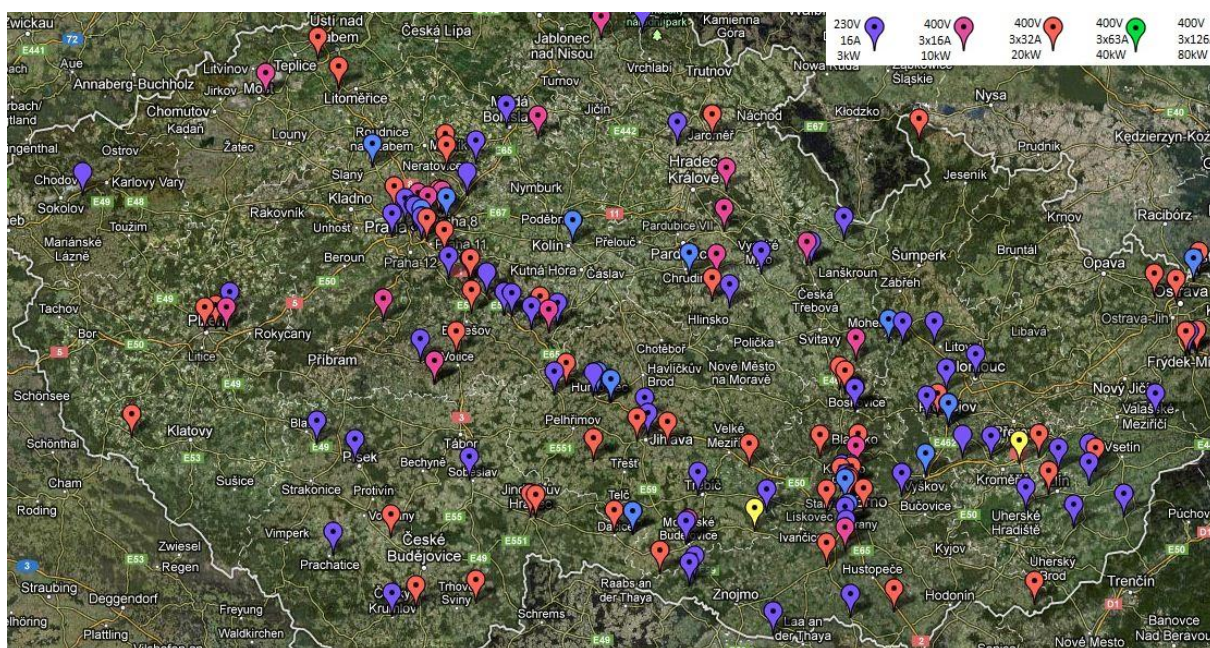


Obr. 10 Budoucnost ropy
[31]

4 ELEKTRICKÝ POHON

Elektrické automobily se stávají konečně skutečností. První elektromobil byl vyroben již před 175 lety a v posledních letech jsme v nich konečně spatřili jednu z možných alternativ za spalovací motory. Elektromobilita představuje budoucnost, která nám přináší možnost výrazného snížení emisních škodlivin a skleníkových plynů, snížení hluku a celkové zlepšení životního prostředí. [23]

V dnešní době jsou elektrická vozidla využívána většinou v městské hromadné dopravě z důvodu nedostatečné infrastruktury pro nabíjení baterií. Postupem času se tahle situace začíná měnit, protože dochází k nárůstu nabíjecích stanic. Na obrázku 11 je zobrazena síť těchto stanic pro Českou republiku.



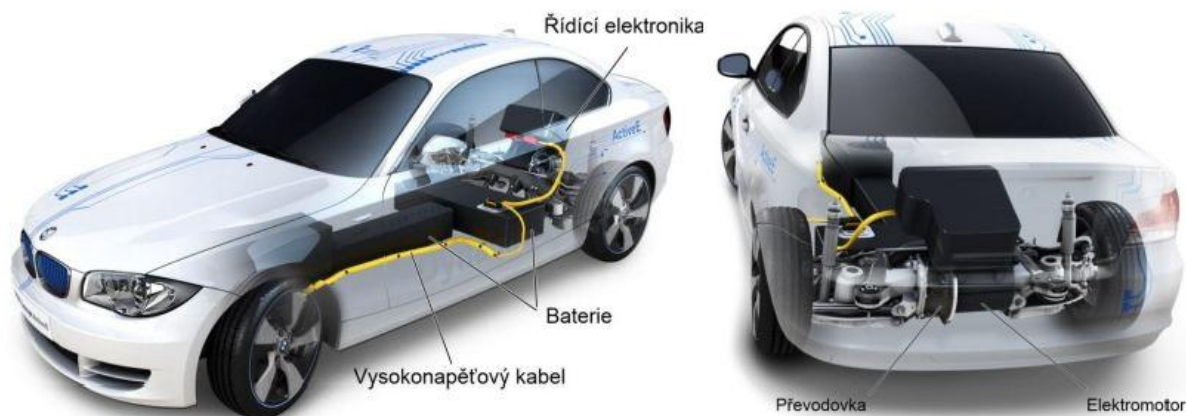
Obr. 11 Dobíjecí stanice v České republice [43]

Elektromobily mají i několik nevýhod, díky kterým se zatím neprosazují v masovém měřítku. Jde především o to, že:

- Cena akumulátorů je vysoká
- Nabíjení akumulátorů trvá několik hodin
- Chybí dostatečná infrastruktura

Naopak elektromobil pro své vlastnosti, jako jsou okamžitá schopnost poskytovat plný výkon, rychlá akcelerace, možnost rekuperace brzděné energie, žádné emise, plní ideální požadavky na městský a příměstský provoz.

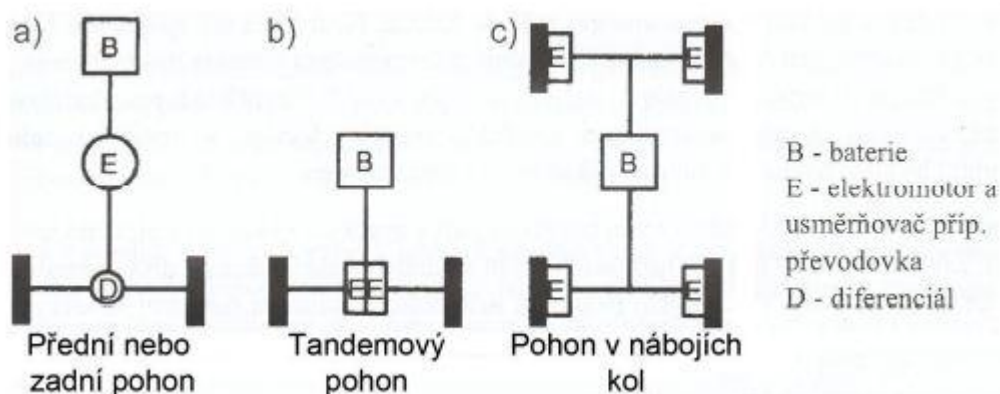
Podobně jako u vozidel se spalovacími motory je hnací ústrojí elektromobilu tvořeno z převodovky, diferenciálu, hnacích hřídelů, rozvodovky, z elektromotoru a energetických zásobníků. Na obrázku 12 je schéma elektromobilu BMW. [5]



Obr. 12 Schéma elektromobilu [15]

4.1 ELEKTROMOTOR

Elektromotor je elektrický stroj, který slouží k přeměně elektrické energie na mechanickou práci. Trakční elektromotory jsou ve většině případů určeny hodnotou momentu, zdánlivě menší význam má hodnota výkonu. Mezi důležité vlastnosti elektromotoru patří vysoká účinnost při nízké hmotnosti, krátkodobá přetížitelnost, nízká hladina hluku, nízké provozní náklady a výhodná cena. I přes jednoduchou plynulou možnost změny točivého momentu u elektromotorů, které umožňují ušetřit použití vícešupňové převodovky, roste se zvyšujícím se výkonem jeho zástavbová velikost a hmotnost, proto se nabízí kombinace ve spojení s vícešupňovou převodovkou jako výhodná. Vzhledem ke schopnosti přetížení elektromotoru může být většinou redukován počet převodových stupňů. Jako nejčastější způsob uspořádání se používá přední nebo zadní pohon s centrálním elektromotorem, dále např. tandemové hnací systémy se dvěma elektromotory a pohony koly elektromotory umístěnými přímo v kolech. [7]



Obr. 13 Uspořádání hnacího ústrojí pro elektromobily [3]

4.1.1 STEJNOSMĚRNÉ MOTORY

Řadu let se v elektromobilech používají motory stejnosměrné s cizím buzením a to z několika důvodů. Nabízejí výhodnou tahovou charakteristiku, jednoduchou regulaci otáček v širokém rozsahu a plynulý přechod z jízdy na brždění. Mohou být napájeny přímo z baterie a jsou cenově dostupné. K jejich zásadním nevýhodám patří nízká účinnost a hustota výkonu ve srovnání se střídavými motory, náchylnost komutátoru a kartáčů k poruchám a omezená maximální obvodová rychlost rotační frekvence asi na 7000 min^{-1} . [5]

4.1.2 STŘÍDAVÉ MOTORY

Díky svým vlastnostem jsou střídavé asynchronní motory používány v elektromobilech nejčastěji a vytlačují motory stejnosměrné. Stejnosměrný proud akumulátoru je nutno přeměnit na střídavý, např. pomocí cyklického zapínání tyristoru. Oproti stejnosměrnému motoru je asynchronní motor při stejném výkonu zásadně menší, lehčí, bezúdržbový, silně přetížitelný a může dosáhnout až $20\,000 \text{ ot/min}^{-1}$. [5]

V praxi existuje řada koncepcí trakčních elektromotorů. Jejich přehled a srovnání znázorňuje **tabulka 1**. Jednotlivé druhy jsou hodnoceny číslem, kde 10 je nejlepší z hlediska použitelnosti pro pohon vozidel. [5]

Tabulka 1 Porovnání různých koncepcí trakčních elektromotorů (nejlepší=10) [5]

Motor	Cena	Účinnost	Hmotnost	Rozsah P_{konst}	Přetížitelnost	Spolehlivost	Stav vývoje
Stejnosměrný	10	7	6	10	10	7	10
Asynchronní	8	8	6	9	10	9	9
Synchronní	8	10	7	10	10	9	8
Synchron. perm. buzení	7	10	8	8	10	10	7
Přepínatelný reluktantní	9	6	7	4	10	9	5
Magnetický (M-M)	8	10	10	8	9	10	8

4.2 BATERIOVÉ SYSTÉMY

Trakční baterie jsou zásadním komponentem celého elektropohonu. Na trakční baterie jsou kladeny následující požadavky [5]:

- Umožnění jízdního výkonu více než 50 000 km
- Bezúdržbovost, možnost rychlého nabíjení
- Energetická hustota alespoň 200 Wh/kg
- Hustota výkonu kolem 100 W/kg
- Cena baterie by neměla přesáhnout 150 Euro/kWh

Přehled některých typů akumulátorů včetně základních parametrů je v **tabulce 2**.

Tabulka 2 Přehled údajů jednotlivých typů baterií (*prognóza) [5]

Typ baterie	Hustota energie		Výkonová hustota		Životnost		Cena
	Wh/kg	Wh/l	W/kg	W/l	cyklů	let	Euro/kW
olovo	30-50	70-120	150-400	350-1000	50/1000	3-5	100-150
nikl-kadmium	40-60	80-130	80-175	180-350	>2000	3-10*	225*-350
nikl-metalhydrid	60-80	150-200	200-300	400-500	500-1000	5-10*	225*-300
sodík-niklchlorid	85-100	150-175	155	255	800-1000	5-10*	225*-300
lithium-iontová	90-120	160-200	300	300	1000	5-10*	275*
lithium-polymer	150	220	300	450	<1000	-	<225*
zinek-vzduch	100-220	120-250	100	120	-	-	60*
cílové hodnoty	80-200	135-300	75-200	250-600	600-1000	5-10	90-135

OLOVĚNÝ AKUMULÁTOR

Olověný akumulátor je dnes nejpoužívanějším sekundárním zdrojem. Je to z důvodu spolehlivosti, přijatelné ceny a dobrého výkonu. Naopak nevýhodou je jejich nízká provozní teplota v rozmezí -15 °C až +45 °C, která zhoršuje dojezd při nízkých teplotách a vysoká hmotnost a schopnost malé akumulace energie (30 Wh/kg). [5]

BATERIE NIKL-KADMIUM

Dojezd vozidel s bateriemi tohoto typu je asi o 50 % větší než u předchozího případu, proto mají baterie nikl-kadmium pro elektrovozidla velký význam. Výhodou je možnost skladování i ve vybitém stavu, dobrá funkčnost akumulátoru i při nízkých teplotách a vysoká životnost až 25 let. Problémy při použití tohoto typu zásobníku vzbuzuje těžký jedovatý kov kadmium. [5]

BATERIE NIKL-METALHYDRIDOVÁ

V porovnání s nikl-kadmiovými bateriemi mají přibližně dvojnásobnou kapacitu i vyšší výkon a jsou neškodné k životnímu prostředí. Nevýhodou je tzv. blokáce baterií při nízkých teplotách, kdy se zdá, že baterie nemá energii, ale při ohřátí se zase vrátí. Další nevýhodou je vysoká pořizovací cena a nákladná recyklace na konci životnosti. [5]

BATERIE LITHIUM-IONTOVÁ

Baterie mají srovnatelnou výkonovou a energetickou hustotu s bateriemi nikl-metalhydridovými. Životnost dosahuje až 10 let a energetická hustota v extrémních případech až 400 Wh/kg. Zásadním problémem je stále vysoká pořizovací cena. [5]

BATERIE VYSOKOTEPLTNÍ

Vysokoteplotní baterie musí pracovat rozmezí teplot 250 °C až 330 °C. Tato zvýšená teplota je nutná k udržení toku iontů k elektrodám a k udržení sodíkové elektrody v tekutém stavu. Patří sem např. baterie sodík-niklchlorid sodík-síra. Ve srovnání s olověnými akumulátory je jejich výhodou schopnost vytvořit třikrát větší zásobu energie, nevykazují žádné chemické samovybíjení a bezúdržbovost. [5]

4.3 PŘÍKLADY ELEKTROMOBILŮ

Elektromobily jezdí už dnes po silnicích v řadě zemí a jejich počet neustále roste. Většina automobilek představuje své prototypy a některé z nich zahájili i sériovou výrobu. Velkým úspěchem se chlubí např. automobilka Nissan, která prodala v Norsku za půl roku více než tisíc kusů elektromobilu Nissan Leaf. Renault se inspiroval konkurenčními automobilkami, jako je právě Nissan, Tesla Motors či BMW a představil svůj elektromobil Renault Zoe, který se má stát hlavním konkurentem právě pro Nissan Leaf. [37]



Obr. 15 Nissan Leaf [41]



Obr. 14 Renault Zoe [36]

5 HYBRIDNÍ POHON- ÚSPĚCH NEBO POUHÝ KLAM

„It wasn't raining when Noah built the ark.“ (Howard Ruff)

„Ještě nepršelo, když Noah stavěl archu.“

V dnešní době se automobilový průmysl nachází v krizi, z důvodu vysoké ceny ropy. V budoucnosti bude krize nabývat neočekávaných rozměrů. Dodávky ropy se sníží a hybridní vozidla budou hrát hlavní roli v této nejasné situaci. Co je to hybrid? Hybrid kombinuje dvě metody pro pohon vozidla - zpravidla více než jedna hnací jednotka. Možné kombinace pro pohon zahrnují diesel/elektrické, benzín/setrvačnick a palivový článěk/baterie. Obecně jeden ze zdrojů slouží jako skladiště a druhý k přeměně paliva v energii. Zkrátka můžeme říci, že hybridní vozidla hospodaří s energií už během jízdy a snaží se ji získávat třeba i způsobem, který je pro nás v běžných vozidlech nemyslitelný. Hybridní pohony můžeme rozdělit do několika kategorií z pohledu na tok výkonu, pohonné koncepce a podle stupně hybridizace.

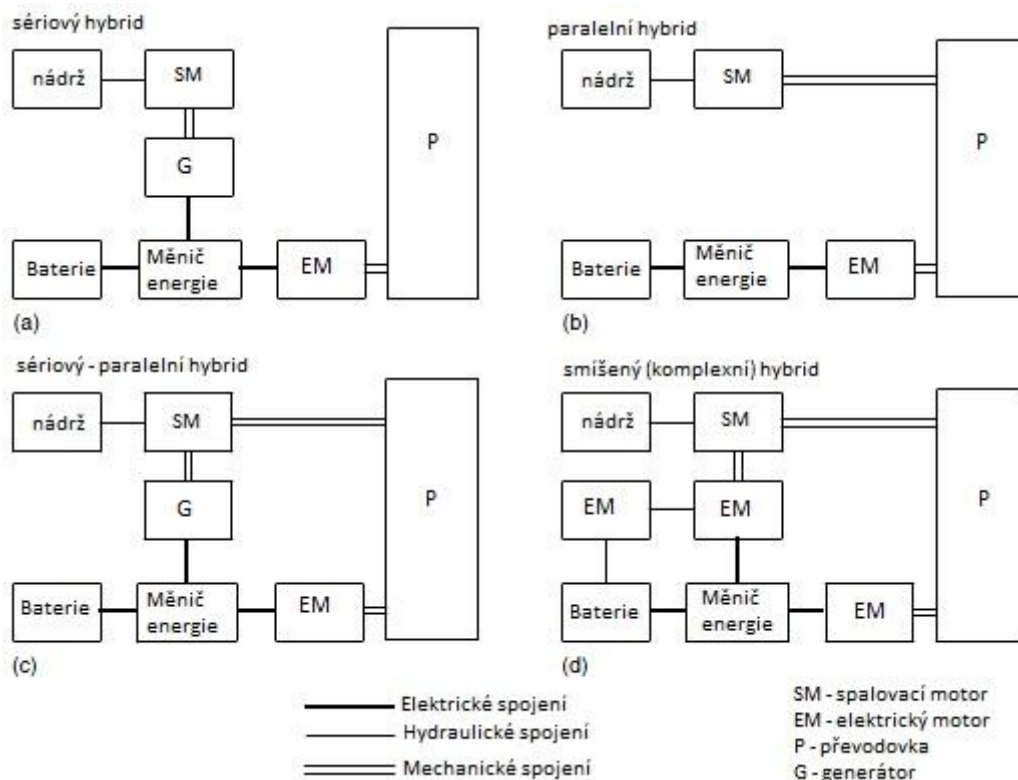


Obr. 16 Hybrid - logo [46]

Stavba hybridního vozidla je volně definována jako spojení mezi komponenty, které definují cesty energetických toků a kontrolu mezi nimi. Tradičně byla hybridní elektrická vozidla, nyní už jen (HEV) dělena na dva základní typy: sériový a paralelní. Je zajímavé si povšimnout, že v roce 2000 byla představená nová HEV, která nemohla být zařazena do těchto dvou skupin. Proto nyní rozdělujeme HEV podle toku výkonu do čtyř základních kategorií, přičemž jejich funkčnost je znázorněna na obrázku číslo 16. Palivová nádrž ve spojení se spalovacím motorem a baterie s elektrickým motorem bereme jako primární zdroj energie (stálý zdroj) a jako sekundární zdroj energie (dynamický zdroj). Je zřejmé, že spalovací motor může být nahrazen jiným zdrojem například palivovými články. Podobně i baterie můžeme nahradit například ultrakondenzátory, setrvačníky nebo i jejich kombinací.

5.1 ROZDĚLENÍ HYBRIDNÍCH POHONŮ PODLE TOKU VÝKONU

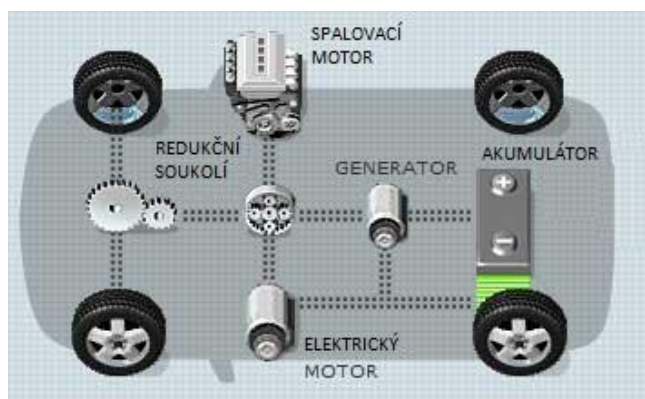
Hybridní pohony je možné dle toku výkonu rozdělit do čtyř základních skupin. Rozdělujeme sériové, paralelní, sériové - paralelní nebo komplexní (smíšené) uspořádání.



Obr. 17 Rozdělení hybridních elektrických vozidel [3]

5.1.1 SÉRIOVÉ USPOŘÁDÁNÍ HYBRIDNÍCH POHONŮ

Koncepce sériového hybridního hnacího ústrojí byla vyvinuta z vozidel s elektrickým pohonem. Elektrická vozidla, v porovnání s běžnými spalovacími motory, mají nulové emise, více zdrojů energie a vysokou účinnost.



Obr. 18 Sériové uspořádání hybridních pohonů [17]

Nicméně elektrická vozidla využívající dnešní technologie mají některé nevýhody: omezený dojezd vzhledem k nedostatku energie uložené v palubních bateriích, limitované zatížení vozidla a objem kapacity baterií z důvodu vysoké váhy a neskladnosti a dlouhá nabíjecí doba. Hlavním cílem vytvoření sériového hybridního vozidla (S-HEV) bylo prodloužení dojezdové dráhy přidáním spalovacího motoru/alternátoru k nabíjení baterií během jízdy. S-HEV je vozidlo s hnacím ústrojím, kde dva zdroje (spalovací motor a generátor) dodávají energii elektrickému pohonu, který pohání vozidlo. Sériové hybridní vozidlo potencionálně nabízí následující pracovní režimy:

- 1) Čistě elektrický režim: Spalovací motor je vypnut a vozidlo je poháněno pouze z baterií.
- 2) Čistě motorový režim: Tažná síla vozidla vychází pouze z motor-generátoru, zatímco baterie neodebírají ani nedodávají energii do hnacího ústrojí.
- 3) Hybridní režim: Tažná síla je čerpána z motor-generátoru i z baterií.
- 4) Motorový režim s nabíjením baterií: Motor-generátor dodává energii k nabíjení baterií a zároveň pohání vozidlo.
- 5) Rekuperační brzdový režim: Motor-generátor je vypnut a trakční motor je ovládán jako generátor. Získaná energie je využita k nabíjení baterií.
- 6) Režim nabíjení baterií: Trakční motor nepřijímá sílu (energii) a motor generátor dobíjí baterie.
- 7) Hybridní režim nabíjení baterií: Motor-generátor a trakční motor pracují jako generátory k nabíjení baterií.

Tento druh uspořádání hybridního pohonu nabízí řadu výhod, ale i nevýhod. Mezi výhody patří provoz motoru v úzkém (optimálním) rozsahu otáček, což zaručuje vysokou účinnost a zároveň tím vykazuje minimální hodnoty emisí. Protože elektrické motory pracují velice blízko k ideální pracovní charakteristice (charakteristika rychlosti v závislosti na krouticím momentu), nepotřebují tak vícerychlostní převodovku. Navíc místo použití jednoho motoru s diferenciálem umožňují použití více motorů, z nichž každý může pohánět jednotlivé kolo. Nevýhodou tohoto uspořádání je, že přeměna energie je vícenásobná. Nejdříve je převáděna mechanická energie na elektrickou v generátoru, poté elektrická na mechanickou v trakčním motoru. Díky těmto přeměnám dochází k významným ztrátám a mechanická účinnost mezi spalovacím motorem a hnanou nápravou dosahuje okolo 55%. Další nevýhodou je, že generátor přidává vozidlu značnou hmotnost a je nákladný. Krásným příkladem vozidla s tímto uspořádáním hybridního pohonu je BMW, které bude v prodeji od roku 2013.

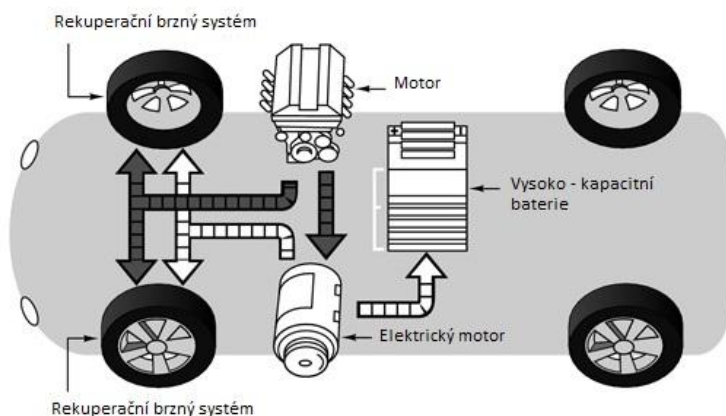


Obr. 19 BMW s hybridním pohonem (sériové uspořádání) [19]

5.1.2 PARALELNÍ USPOŘÁDÁNÍ HYBRIDNÍCH POHONŮ

Na rozdíl od sériového hybridu, hnací ústrojí paralelního uspořádání má rysy, které umožňují motoru i trakčnímu motoru dodávat mechanickou práci paralelně přímo do hnacích kol. Nejvýznamnější výhody paralelního zapojení oproti sériovému jsou:

- 1) Není vyžadován generátor.
- 2) Trakční motor je menší a vícenásobná přeměna energie z motoru do hnacích kol není potřebná, z tohoto důvodu může být celková účinnost vyšší.



Obr. 20 Paralelní uspořádání hybridních pohonů [24]

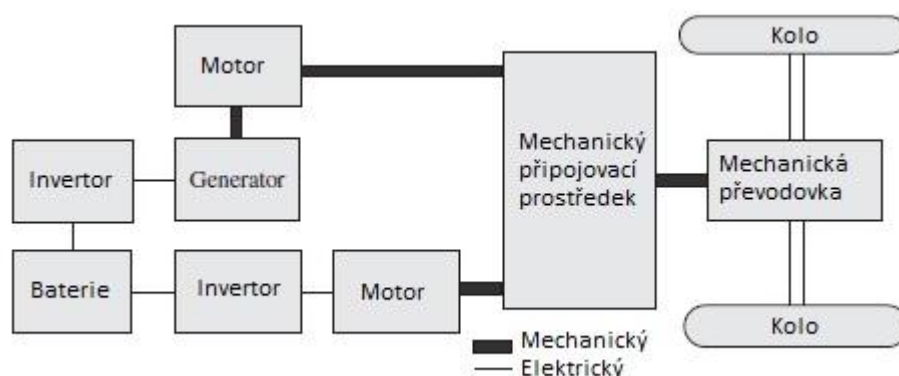
Nicméně konstrukce tohoto paralelního uzpůsobení je více komplexní, protože pro pohon spalovacím motorem je třeba mechanický přípojovací prostředek a převodovka. Při provozu můžeme měnit otáčky elektrického motoru ve spojení s motorem spalovacím, a to tak, aby motor (spalovací) fungoval v ideálním rozsahu. Při jízdě v nízkých otáčkách můžeme při zapojení obou motorů paralelně dosáhnout velkého nárůstu hnací síly ke zvýšení výkonu. Během kombinovaného stylu jízdy je v provozu pouze spalovací motor, až při plném sešlápnutí plynu například při předjíždění, je do funkce uveden i elektromotor, který poskytne okamžitý nárůst požadovaného špičkového výkonu. Jedním, podle mě nejkrásnějším hybridem paralelního uspořádání, je Porsche 918 Spyder. Jeho koncept byl představen v roce 2012 na autosalonu v Ženevě. Spotřeba činí pouhých 3,6 l/100km, emise 70g CO₂/km, dokáže urazit přes 15 km na samostatný elektrický pohon a zrychlení z 0-100 km/hod zvládne za 3,2 vteřiny.



Obr. 21 Porsche 918 Spyder hybrid [39]

5.1.3 SÉRIOVÉ – PARALELNÍ USPOŘÁDÁNÍ HYBRIDNÍCH POHONŮ

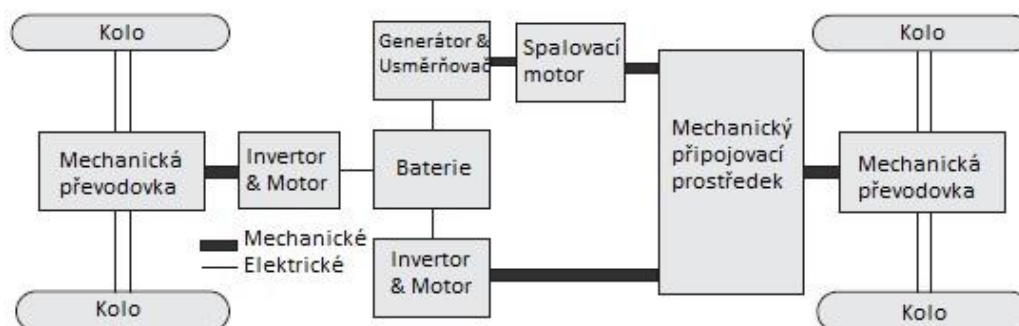
Tohle uspořádání zahrnuje rysy sériového (S-HEV) i paralelního (P-HEV) uspořádání. Proto může být ovládáno jak sériově, tak i paralelně. V porovnání se S-HEV, tahle kombinace přidává mechanické spojení mezi motorem a hnacími koly, čímž umožňuje motoru přímo pohánět kola. V porovnání s P-HEV obsahuje navíc druhý elektrický motor, který slouží primárně jako generátor. Protože vozidlo může fungovat v obou jednotlivých režimech, účinnost a schopnost provozu může být optimalizována na základě provozních podmínek. Díky většímu stupni volnosti je sériové – paralelní uspořádání dobrou volbou, ale na druhou stranu jsou součásti rozměrnější a nákladnější, než u jednotlivých klasických provedení.



Obr. 22 Sériově - paralelní uspořádání hybridních pohonů [6]

5.1.4 SMÍŠENÉ USPOŘÁDÁNÍ HYBRIDNÍCH POHONŮ

Smíšené hybridní pohony obvykle zahrnují použití planetových převodovek a vícenásobných elektrických motorů (v případě pohonu všech čtyř kol). Typickým příkladem je 4WD systém (náhon všech čtyř kol) zobrazený na obrázku číslo 23. Generátor v tomto systému je použit ke kontrole chodu motoru pro maximální účinnost. Dva elektrické motory jsou využívány pro pohon všech kol, realizování lepšího výkonu a rekuperační brzdění. Mohou také zlepšovat stabilitu vozidla a zlepšovat účinnost brzd pomocí systému ABS (Antiblock braking system).



Obr. 23 Smíšené uspořádání hybridních pohonů [6]

Nevýhody sériového a paralelního uspořádání a jejich kombinace byly z hlediska účinnosti minimalizovány a vedly k vývoji smíšeného uspořádání. Celková účinnost, dosahovaná smíšeným uspořádáním, je ze všech předešlých koncepcí nejvyšší, avšak za cenu zvýšení výrobních nákladů.

5.2 ROZDĚLENÍ HYBRIDNÍCH POHONŮ PODLE STUPNĚ HYBRIDIZACE

Pod pojmem stupeň hybridizace rozumíme, do jaké míry je ve vozidlu použito principů hybridního pohonu. V posledních letech můžeme pozorovat na trhu hybridní automobily, které obecně členíme do třech kategorií v závislosti na výkonu elektromotoru. Hybridní pohony dělíme do následujících kategorií:

- Micro-hybrid
- Mild-hybrid
- Full-hybrid

5.2.1 MICRO-HYBRID

Micro hybrid je označení pro typ hybridního pohonu, u kterého je k pohonu kol po celou dobu jízdy využíván klasický spalovací motor. Automobil má elektromotor (generátor) o výkonu řádově do 10 kW ve spojení s předimenzovaným startérem, který umožňuje častější zhasínání a startování motoru podle příkazu řídicí jednotky, tzv. systém Start/Stop. Micro-hybrid tedy není možné provozovat pouze na samotnou elektřinu. [9]



Obr. 24 Koncepce Micro - hybrid [18]

Micro-hybridy druhé generace jsou nově vybaveny funkcí rekuperace brzdné energie, což znamená, že startér funguje při brzdění jako alternátor a dobíjí tedy akumulátor. Přesto je úspornost těchto vozidel velmi nízká, pohybuje se kolem šesti procent a odborníci Micro-hybrid nepovažují za pravověrný hybridní automobil. Největší úspornosti dosahuje Micro-hybrid v městském provozu, kdy řidič často čeká na zelenou nebo dobržďuje v kolonách. [9]

5.2.2 MILD-HYBRID

Mild-hybrid bývá často zaměňován s Micro-hybridem. Většinou se jedná o klasický konvenční automobil, u kterého se elektromotor na pohybu nikdy nepodílí sám. Elektromotor pouze pomáhá klasickému spalovacímu motoru při rozjezdu nebo při akceleraci automobilu a řádově se jedná o výkon do 15kW. Účinnost této koncepce vede ke snížení spotřeby a zároveň i ke snížení množství CO₂ ve výfuku řádově od deseti do patnácti procent. Avšak i jako u výše zmíněného Micro-hybridu řada odborníků nepovažuje ani Mild-hybrid za skutečný

hybrid. Typickým příkladem této koncepce jsou vozy BMW vybavené systémem Efficient Dynamics. [10]



Obr. 25 BMW Efficient Dynamics [16]

5.2.3 FULL-HYBRID

Full-hybrid se od předešlých koncepcí liší především tím, že dokáže jet bez použití spalovacího motoru, například čistě na bateriový (elektrický) pohon. V tomto režimu má v podstatě nulové emise. Průkopníkem takového pohonu je Toyota, Lexus nebo i BMW. U Full-hybridů si může řidič volit, na jaký druh pohonu chce právě cestovat. [11]



Obr. 26 Lexus GS 450h Full-hybrid [26]

Zásadní otázkou zůstává, zda hybridní automobily můžeme přiřadit do kategorie vozidel, která jsou šetrná k životnímu prostředí a mají značný vliv na zlepšení našich životních podmínek, nebo jsou pouhým klamem a cestou světových automobilek ke zvýšení zisků. Faktem je, že přechod na automobily produkující absolutně nulové emise by byl v krátkodobém měřítku zcela nemožný z hlediska nákladů na výrobu a realizovatelnost. Hybridní pohon nabízí v tomto ohledu jistý kompromis. Úspornost provozu je obvykle minimálně o dvacet pět procent vyšší než u běžných spalovacích motorů a hodnoty vyprodukovaných spalin klesají řádově na polovinu. Krása hybridních vozidel spočívá v tom, že napomáhají zlepšovat kvalitu ovzduší beze ztrát na kvalitě zpracování, vzhledu a bezpečnosti.

6 NEJPERSPEKTIVNĚJŠÍ DRUH MODERNÍHO POHONU

Pod pojmem nejperspektivnější druh alternativního či moderního pohonu automobilu si každý může představit úplně něco jiného. Každá automobilka si prosazuje právě druh pohonu, se kterým je ve vývoji nejdále a zdá se být s ním úspěšná. Americká společnost Tesla si stojí za kvalitou a účinností elektromobilů vybavenými stovky baterií, naopak Toyota udržuje v prvenství jimi dlouho vyráběné hybridy. Automobilka BMW se již před lety zabývala vývojem vodíkového pohonu, šlo ale o slepou uličku přímého spalování vodíku. Nyní ve spolupráci s General Motors chystají podpis smlouvy, která má zajistit BMW přístup k technologii palivových článků a vodíkovému pohonu výměnou za finanční kompenzaci.



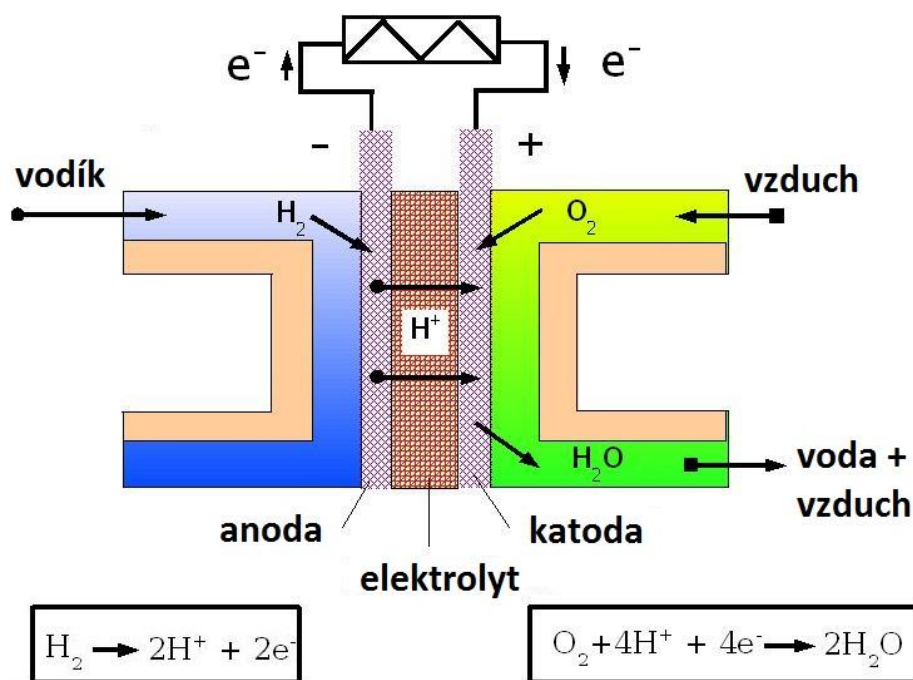
Obr. 27 Automobil s palivovým článkem [29]

Hovoříme-li o jakémkoliv druhu alternativního pohonu, musíme brát na vědomí, že každý nabízí řadu výhod, ale i nevýhod. Snahou je docílit co nejlepšího výsledku v oblasti snižování spotřeby ropy, snížení hodnot produkovaných emisí, hlučnosti, ale i pohodlné jízdy. O hybridech už víme, že jejich užíváním nebudou výsledkem nulové emise ani nulová spotřeba ropy, nýbrž problém pouze dočasně zpomalíme. Elektromobily jsou v současnosti reálně téměř nevyužitelné z důvodu krátkého dojezdu nepřesahujícího 500 km díky omezené kapacitě baterií. Dokud se nepodaří vyvinout baterie, které zvýší dojezd alespoň na desetinásobek a zásadně se nesníží jejich cena, samotné elektromobily boj mezi alternativními pohony nevyhrají. Klíčem k úspěchu a zároveň jasnou cestou do budoucnosti je dle mého názoru spojení elektrického pohonu a aut na vodík. Díky spojení těchto technologií, využití principu chemických reakcí a vhodné aplikace lze docílit výborného výsledku. Konstrukci, technologii, princip a možnosti využití **palivových článků** si popíšeme v následující kapitole.

6.1 ELEKTRICKÁ VOZIDLA S PALIVOVÝMI ČLÁNKY

Samotný princip palivových článků byl objeven švýcarským vědcem Christianem Friedrichem Schönbeinem už v roce 1938, avšak první prototyp sestrojil v roce 1939 na základě Schönbeinovy teorie Sir William Grove. V dnešní době mohou palivové články pohánět takřka cokoliv. Od mikročipů, automobilů až po elektrárny. V poslední době se na aplikaci těchto článků do automobilů zaměřují hlavně automobilky Volvo, Mercedes a Hyundai. Na rozdíl od chemické baterie, která energii pouze uchovává a to s velice omezenou kapacitou, palivový článek elektrickou energii generuje až do doby omezení dodávky paliva. Ve srovnání s elektrickými vozidly poháněnými bateriemi, automobily s palivovými články nabízí nesrovnatelně delší dojezd a to bez potřeby dlouhých hodin pro nabíjení baterií. V porovnání s běžnými spalovacími motory patří mezi zásadní výhody vysoká energetická účinnost a mnohem nižší emise vzhledem k přímé přeměně energie obsažené v palivu na energii elektrickou, aniž by prošla spalováním.

6.1.1 PRINCIP FUNKCE A STAVBA PALIVOVÉHO ČLÁNKU

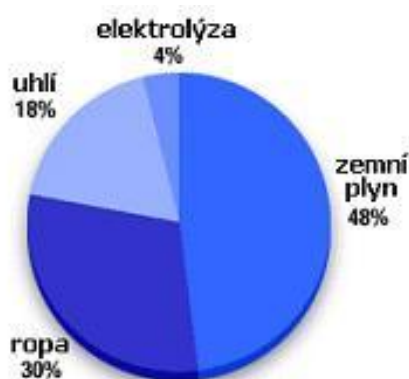


Obr. 28 Schématické vyjádření dějů v palivovém článku [22]

Palivový článek je galvanický článek, ve kterém se přeměňuje chemická energie paliva přímo na energii elektrickou pomocí elektrochemických procesů. Palivo a oxidační činidla jsou nepřetržitě dodávána na elektrody v článku, kde procházejí reakcí. Pro elektrolyt je nezbytné zachovat směr vedení iontů z jedné elektrody na druhou, jak je znázorněno na obrázku 28. Palivo (například vodík) je dodáváno na anodu, neboli kladnou elektrodu, kde je katalyticky přeměněno na kationty. Uvolněné elektrony jsou navázány na anodu a vytváří elektrický proud, který proudí přes elektrický spotřebič ke katodě (záporná elektroda). Na katodě se oxidační činidlo redukuje na anionty a ty pak reagují společně s ionty vodíku a přeměňují se na vodu. [21]

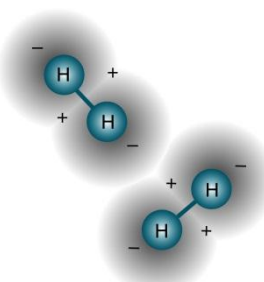
6.1.2 VODÍK A JINÉ DRUHY PALIVA

Palivem mohou být kapalné, tuhé, nebo i plynné látky. Nízkoteplotní palivové články spalují s kyslíkem (většinou ze vzduchu) vodík nebo methanol, vysokoteplotní články mohou spalovat i některá konvenční uhlovodíková paliva. Z tuhých paliv by to byl zinek Zn, horčík Mg a sodík Na a z plynných sloučenin například oxid uhličitý CO_2 nebo také hydrazin N_2H_4 . Vodík má pro automobilový průmysl veliký význam, protože jeho spalováním nevznikají žádné škodliviny a tím nepřispívá ke znečišťování naší atmosféry. Odborníky je z tohoto důvodu označován jako **palivo 21. století** a taktéž jako ideální nosič energie pro palivové články. [48]



Obr. 29 Procentuální vyjádření způsobu výroby vodíku v celosvětovém měřítku [48]

Vodík lze vyrábět mnoha různými způsoby z rozsáhlého spektra vstupních zdrojů. V dnešní době prozatím dominuje výroba z fosilních paliv, ale možností je i výroba vodíku z obnovitelných zdrojů. Z nich je vodík získáván elektrolýzou vody, pyrolýzou biomasy, zplyňováním či vysokoteplotním rozkladem vody. Každý den je ve světě vyprodukováno přibližně 127 tis. tun vodíku. Výhodou energie, která je ve vodíku obsažená, je možnost jejího uskladnění. Existuje mnoho způsobů, jak vodík skladovat. Některé z nich jsou dostupné již dnes, některé jsou ve fázi vývoje. Mezi dnes komerčně využívané způsoby patří zejména skladování kapalného vodíku a stlačeného plynného vodíku. Tyto způsoby skladování vodíku jsou bezpečné a lety v provozu ověřené systémy, ale jejich technologický a využitelný potenciál je téměř vyčerpán. Z tohoto důvodu je na vývoj metod pro uskladnění vodíku kladen vysoký důraz. Mezi nejzajímavější výsledky vývoje patří skladování v hydridech, uhlíkatých strukturách a také chemických sloučeninách obsahujících vodík. Právě tyto způsoby skladování vodíku disponují značným potenciálem a je možné očekávat, že v blízké budoucnosti se stanou dominantními. [49]



Obr. 30 Vodík [30]

6.1.3 ZÁKLADNÍ TYPY PALIVOVÝCH ČLÁNKŮ

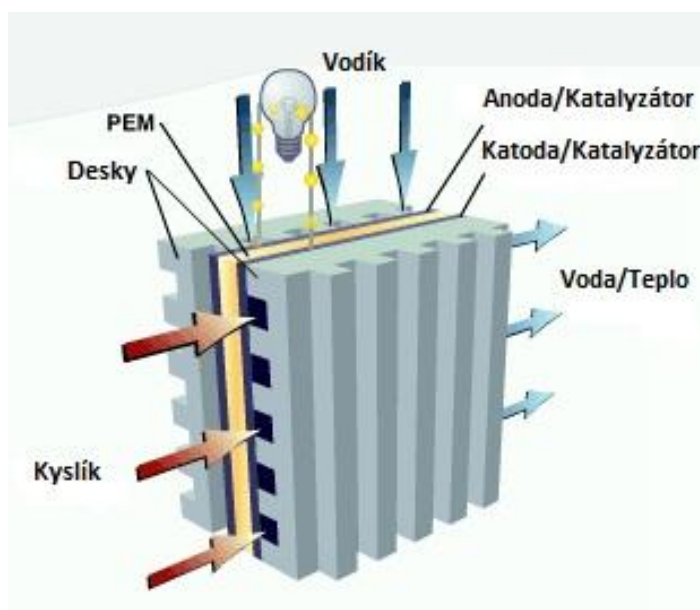
Palivové články dělíme, jak již bylo zmíněno, dle provozní teploty na nízkoteplotní a vysokoteplotní. Dalším kritériem pro rozdělení je typ použitého elektrolytu. Níže na obrázku je uvedeno rozdělení palivových článků na šest základních typů.

Typ článku	Provozní teplota °C	Skupenství elektrolytu
Palivové články s polymerní membránou (PEMFC)	60-100	Tuhé
Palivové články s alkalickým elektrolytem (AFC)	100	kapalné
Palivové články s kyselinou fosforečnou (PAFC)	60-200	Kapalné
Palivové články s tavenými uhličitany (MCFC)	500-800	Kapalné
Palivové články s tuhými oxidy (SOFC)	1000-1200	Tuhé
Palivové články přímé metanolové (DMFC)	100	Tuhé

Obr. 31 Dělení palivových článků dle typu elektrolytu [1]

PALIVOVÉ ČLÁNKY S POLYMERNÍ MEMBRÁNOU (PEMFC)

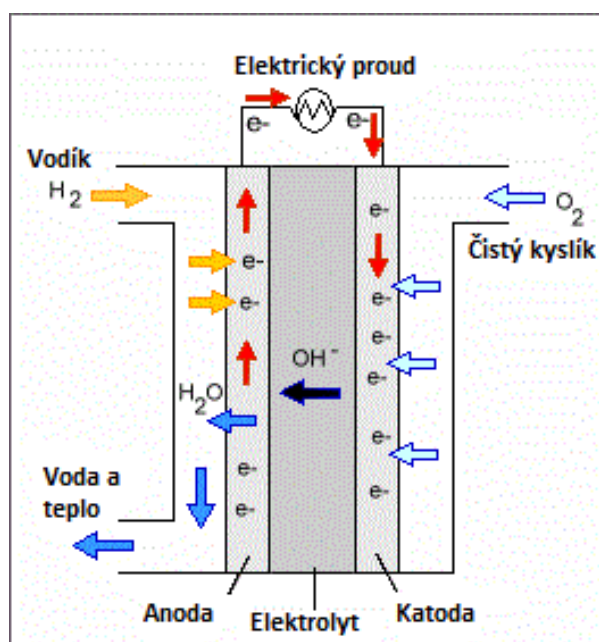
Články typu PEMFC užívají jako elektrolyt polymerní iontoměničovou membránu, která umožní vést protony H^+ od anody ke katodě. Funkci katalyzátoru zde plní nejčastěji používaná platina nebo slitiny platinových kovů. Jako palivo slouží čistý vodík nebo metanol a jako okysličovadlo kyslík nebo také vzduch. Jejich pracovní teplota se pohybuje v rozmezí 60-100°C, což je řadí mezi nízkoteplotní palivové články a nabízí řadu výhod. Na materiály nejsou kladeny vysoké nároky a umožňují rychlé starty. Hustota výkonu je nejvyšší ze všech možných typů a pohybuje se řádově od 0.35 do 0.6 W/cm². Pevný suchý elektrolyt se nemění, nehýbe ani nevypařuje ze článku. Nevýhodou je poměrně vysoká cena membrány a ušlechtilého kovu.



Obr. 32 Základní koncepce PEMFC [51]

PALIVOVÉ ČLÁNKY S ALKALICKÝM ELEKTROLYTEM (AFC)

Alkalické palivové články byly jako první široce využívány v americkém vesmírném programu k produkci elektrické energie a vody na palubě kosmických lodí. Je použit vodný roztok alkalického hydroxidu (NaOH, KOH) jako elektrolyt, který je udržován v porézním materiálu, kterým je nejčastěji azbest. Řadí se mezi nízkoteplotní palivové články pracující v rozmezí 20-100°C. Palivem je ve většině případů vodík. Oxidačním činidlem je čistý kyslík, nebo vzduch zbavený oxidu uhličitého, který by jinak reagoval spolu s elektrolytem, a došlo by k jeho znehodnocení. Články mají malý objem i hmotnost, relativně jednoduchý provoz, rychlé startovací časy a relativně malou či žádnou spotřebu platinového katalyzátoru. Hlavní nevýhodou je náročnost na obsah CO_2 a také, že skupenství elektrolytu je tekuté, což způsobuje problémy s manipulací.



Obr. 33 Základní koncepce AFC [28]

PALIVOVÉ ČLÁNKY S KYSELINOU FOSFOREČNOU (PAFC)

PAFC jsou první palivové články, které byly uvedeny na trh. Jsou využívány v nemocnicích, hotelích nebo i vojenských základnách pro pokrytí potřeb elektrické energie a tepla. Jako elektrolyt slouží kyselina fosforečná a články pracují v teplotním rozmezí 60-200°C. Katalyzátorem je jako u předešlých typů platina a palivem je vodík, většinou připravený parním reformingem fosilních paliv. Výhodou je schopnost snést vysoký obsah CO_2 v palivu, nevýhodou je tekutý elektrolyt, nutnost zahřívání před pracovní činností a cena.

PALIVOVÉ S TAVENÝMI UHLIČITANY (MCFC)

MCFC jsou vysokoteplotní palivové články pracující při teplotě 500-800°C. Elektrolytem je tavenina směsi alkalických uhličitů (Li, Na). V článku dochází k vnitřnímu reformingu, což způsobuje vyšší účinnost a katalyzátory nemusejí být tak drahé. Palivem je plyn z parního reformingu fosilních paliv a bioplynu. Články vyrábějí vysokopotenciální teplo a reakce probíhají rychle. Nevýhodou jsou vysoké materiálové požadavky z důvodu vysoké teploty a dlouhá doba na rozběh. Tyto palivové články nabízejí možnost využití v kogeneračních jednotkách a elektrárnách.

PALIVOVÉ ČLÁNKY S TUHÝMI OXIDY (SOFC)

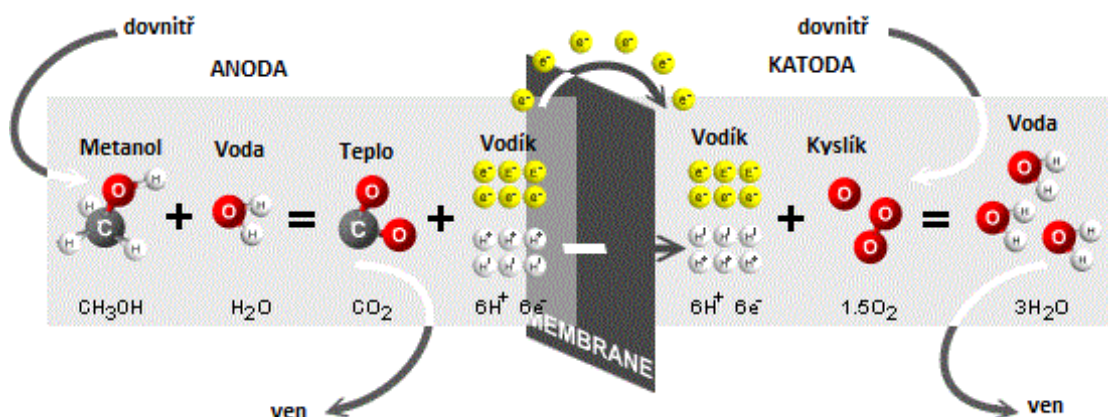
SOFC jsou vysokoteplotní palivové články pracující při teplotě kolem 1000°C. Chemické reakce a procesy při tak vysokých teplotách vylučují nutnost použití drahých katalyzátorů z vzácných kovů, což velmi snižuje jejich cenu. Tento typ palivového článku je výjimečný tím, že jeho elektrolyt je pevný a tím má velký význam pro zjednodušení celého systému. Nejčastěji je využíván oxid zirkoničitý ZrO_2 , stabilizovaný oxidem ytritým Y_2O_3 . Mezi výhody těchto článků se řadí již zmíněný pevný elektrolyt, možnost vnitřního reformingu uhlovodíkových paliv, reakce probíhají rychle a nejsou potřeba katalyzátory z ušlechtilých kovů. Naopak hlavní nevýhodou je vysoká teplota spojená s vysokými nároky na použité materiály.

PŘÍMÉ METANOLOVÉ PALIVOVÉ ČLÁNKY (DMFC)

DMFC využívají metanol jako palivo, namísto využití vodíku jako v předešlých typech. Existuje řada důvodů, proč právě tento typ palivového článku využívat pro pohon automobilů.

1. Metanol je kapalné palivo, lehce se uchovává, distribuuje a do dnešní infrastruktury pro dodávku paliva by změna na právě tento typ paliva nevyžadovala zásadně velkou investici.
2. Metanol je nejjednodušší organické palivo, které může být produkováno z více různých zdrojů.

V porovnání s vodíkovými články, DMFC palivové články nabízejí nižší výkon a nižší účinnost, ale jsou stále ve fázi vývoje a do budoucna jistě představují jistou možnost pro využití v mobilních aplikacích.



Obr. 34 DMFC palivový článek [8]

6.1.4 SHRUTÍ

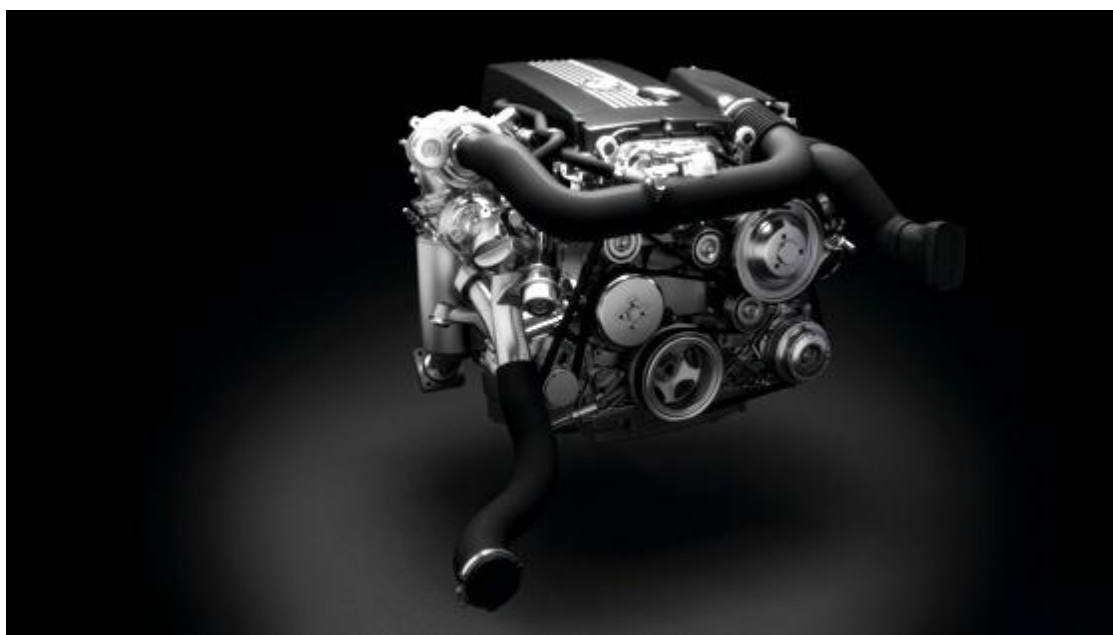
Palivové články jsou v současnosti velmi vyspělá a bezpečná zařízení. Jejich komerčnímu rozšíření brání prozatím jejich velmi vysoká pořizovací cena daná stupněm vývoje, převážně kusovou výrobou a v neposlední řadě cenou použitých materiálů. U nízkoteplotních palivových článků je to především cena membrán a platiny, u vysokoteplotních potom cena materiálů schopných odolat vysokým teplotám a korozivnímu prostředí. Cena palivového článku je v současné době přibližně 200 000 Kč/kW. Životnost palivových článků je u současných produktů garantována na 5-20 tis. hodin (5000 hodin = automobil- 2 hodiny jízdy denně, 365 dní v roce, 7let. [38]

6.2 NETRADIČNÍ KONSTRUKCE SPALOVACÍCH MOTORŮ

„Enhanced Environmentally friendly Vehicle“

„Vozidlo zvláště šetřící životní prostředí“

Nekonečný postup dopředu v rámci plnění nových norem a současně zpřísnujících se předpisů má za následek významné zlepšení emisní charakteristiky vozidel. Všechny světové automobilky musí tyto emisní normy dodržovat, a proto vyvíjí modernější, úspornější a účinnější automobily. Cest a možných způsobů je ve vývoji mnoho. Automobilky se snaží jít cestou k maximálnímu využití alternativních pohonů, ale zároveň vyvíjejí stávající spalovací motory ve snaze dosažení co nejnižší spotřeby paliva, produkce škodlivin, ale zároveň co největšího výkonu k uspokojení potenciálních zákazníků.



Obr. 35 DiesOtto - hybrid trochu jinak [12]

V roce 1877, když si nechal Nicolaus Otto patentovat svůj koncept spalovacího motoru, nastartoval tak novou éru motorismu. Zároveň s ním se snažil prosadit německý konstruktér Ing. Rudolf Diesel. Motory s vnitřním spalováním benzínu či nafty mají své klady, ale i zápory. Benzínové motory pracují s klidným kultivovaným chodem, naopak dieselové mají chod tvrdší, ale jsou konstrukčně jednodušší a účinnější. Myšlenka skloubit vysokou kompresi a účinnost spalování dieselu s rozsahem otáček a výkonem zážehového motoru není v dnešní době žádná novina, ale žádné automobilce se nepodařilo tento cyklus úspěšně a účinně realizovat. Změna nastala až s německou automobilkou Mercedes, která ukázala světu studii nazvanou F700 a s ní pohonnou jednotku DiesOtto. Jedná se tak trochu o hybrid, ale místo spalovacího motoru společně s elektrickým zde nacházíme Dieselův i Ottův motor v jednom. Toto uspořádání nabízí proměnnou kompresi, dvoustupňové přeplňování a přímé vstřikování. Při nižší kompresi výbušnou směs zapaluje svíčka, při kompresi vyšší se palivo vznítí samotnou kompresí jako u běžného dieselu. Stupeň komprese se mění v závislosti na aktuálním zatížení motoru. V konceptu F700 činí průměrná spotřeba 5,3 l/100 km při emisích CO_2 ve výši 127 g/km, což vozidlu umožňuje případně plnit i nejnovější

připravované normy euro VI. Přitom vůz disponuje výkonem 175 kW a umožní zrychlit z klidu na 100 km/hod za 7,5 s a dosáhnout tak rychlosti 200 km/ hod. [13]



Obr. 36 Mercedes F700 [14]

Nacházíme se v době, kdy automobilový průmysl udává trendy v nejmodernějších technologiích. Ty kladou vysoké nároky na výrobní postupy a procesy. Výsledkem jsou pak produkty mimořádné kvality, hospodárnosti a ekologičnosti. [44]

Nové emisní normy EURO 6 stanovující limitní hodnoty výfukových exhalací vstoupí v platnost v září roku 2014. EURO 6 je prvním stupněm uvedení do praxe emisních standardů s celosvětovou harmonizací, tolik let hledanému sjednocení norem zahrnující Evropu, Severní Ameriku a Japonsko. To umožní koordinaci a vývoj příštích standardů. [44]

ZÁVĚR

Při hledání vhodného alternativního pohonu či paliva pro automobily, které v dnešní době musí splňovat řadu přísných norem a nařízení, nestačí hodnotit pouze finální spotřebu paliva ve vozidle a jeho dojezd, ale je třeba brát v úvahu i způsob výroby, její dopad na životní prostředí, cenu vozidla, a mnoho dalších faktorů.

Hovoříme-li o jakémkoliv druhu alternativního pohonu, musíme brát na vědomí, že každý z nich nabízí řadu výhod, ale i nevýhod. O hybridech víme, že jejich užíváním nebudou výsledkem nulové emise ani nulová spotřeba ropy, nýbrž problém pouze dočasně zpomalíme.

Elektromobily jsou v současnosti reálně téměř nevyužitelné z důvodu krátkého dojezdu nepřesahujícího 500 km díky omezené kapacitě baterií. Dokud se nepodaří vyvinout baterie, které zvýší dojezd alespoň na desetinásobek a zásadně se nesníží jejich cena, samotné elektromobily boj mezi alternativními pohony nevyhrají.

Elektrický pohon ve spojení s vodíkem nabízí při vhodné aplikaci použití díky chemickým reakcím technologii palivových článků. Palivové články jsou v současnosti velmi vyspělá a bezpečná zařízení. Jejich komerčnímu rozšíření brání prozatím jejich velmi vysoká pořizovací cena daná stupněm vývoje, převážně kusovou výrobou a v neposlední řadě cenou použitých materiálů.

Problémy s běžnými spalovacími motory- negativní účinky na životní prostředí a s tím spojené omezené zdroje energie motivují světové automobilky k neustálému vývoji alternativních pohonů. Je pouze otázkou času, kdy přechod na pohon automobilu, zcela nezávislém na ropě, plně nahradí pohony stávající.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] EHSANI, GAO, Sebastien GAY a EMADI. *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design*. Spojené Státy Americké: CRC Press, 2005. ISBN 0-8493-3154-4. Dostupné z: www.crcpress.com
- [2] GUPTA, Ram B.: *Hydrogen fuel: production, transport and storage*. Boca Raton: CRC Press, 2009. 611 s. ISBN 978-142-0045-758.
- [3] VLK, F.: *Alternativní pohony motorových vozidel*. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc. 1. vydání, 2004. ISBN 80-239-1602-5.
- [4] VLK, F.: *Koncepce motorových vozidel*. Nakladatelství a vydavatelství VLK, Brno 2000. ISBN 80-238-5276-5.
- [5] KAMEŠ. Josef. *Alternativní pohony automobilů*. 1 dotisk 1. vydání. Praha: Nakladatelství BEN – technická literatura, 2008. 232 s. ISBN 978-80-7300-127-8.
- [6] MI, Chris, MASRUR a WENZHONG GAO. *Hybrid Electric Vehicles: Principles and applications with practical perspectives*. John Wiley & Sons, Ltd, 2011. ISBN 978-1-119-99890-7.
- [7] BILÍK, M. *Motory na alternativní paliva*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 60 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Radim Dundálek, Ph.D.
- [8] *Antig.com* [online] c2012 [cit. 2012-03-27]. Dostupné z WWW: http://www.antig.com/images/dmfc_reaction.gif
- [9] *Autolexicon.net* [online]. c2011 [cit. 2012-02-29]. Dostupné z WWW: <http://cs.autolexicon.net/articles/micro-hybrid/>
- [10] *Autolexicon.net* [online]. c2011 [cit. 2012-02-29]. Dostupné z WWW: <http://cs.autolexicon.net/articles/mild-hybrid/>
- [11] *Autolexicon.net* [online]. c2011 [cit. 2012-02-29]. Dostupné z WWW: <http://cs.autolexicon.net/articles/full-hybrid/>
- [12] *Autopult.hu* [online] 08.10.2012 [cit. 2012-03-27]. Dostupné z WWW: http://www.autopult.hu/galeria/1010/1008_diesotto_01.jpg
- [13] *Autorevue.cz* [online] 09.10.2010 [cit. 2012-03-27]. Dostupné z WWW: <http://www.autorevue.cz/mercedes-diesotto-hybrid-trochu-jinak>
- [14] *Beautifullife.info* [online] c2012 [cit. 2012-05-18]. Dostupné z WWW: <http://www.beautifullife.info/automotive-design/luxury-concept-car-mercedes-f700/>
- [15] *Bmw.com* [online] c2010 [cit. 2012-05-15]. Dostupné z WWW: http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/efficientdynamics/phase_1/concept_active_e_maim_technology.html



-
- [16] *Bmw.cz* [online]. c2012 [cit. 2012-02-29]. Dostupné z WWW:
<http://www.bmw.cz/_common/shared/insights/technology/efficientdynamics/phase_1/img/bmwvision_low_introduction.jpg>
- [17] *Car-hybrids.com* [online]. 04.03.2011 [cit. 2012-02-28]. Dostupné z WWW:
<<http://www.cars-hybrids.com/series-hybrid-cars/>>
- [18] *Carmagazine.co.uk* [online]. c2012 [cit. 2012-02-29]. Dostupné z WWW:
<<http://www.carmagazine.co.uk/upload/9748/images/99Smart-MHD-micro-hybrid-engine.jpg>>
- [19] *Cars-trendy.blogspot.com* [online]. c2012 [cit. 2012-02-28]. Dostupné z WWW:
<<http://www.cars-trendy.blogspot.com/2010/09/new-2013-bmw-3-series-and-5-series.html>>
- [20] *Creativecardesign.com* [online]. c2012 [cit. 2012-02-29]. Dostupné z WWW:
<<http://creativecardesign.com/wp-content/uploads/2011/05/bmw-vision-hybrid-3.jpg>>
- [21] *Cs.wikipedia.org* [online]. 2.2.2012 [cit. 2012-03-13]. Dostupné z WWW:
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Palivov%C3%BD_%C4%8Dl%C3%A1nek>
- [22] *Cs.wikipedia.org* [online]. 7.11.2006 [cit. 2012-03-13]. Dostupné z WWW:
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Fuell_cell.jpg>
- [23] *Daho.cz* [online] c2012 [cit. 2012-05-15]. Dostupné z WWW:
<<http://www.daho.cz/ekologie.php>>
- [24] *Dummies.com* [online]. c2012 [cit. 2012-02-28]. Dostupné z WWW:
<<http://www.dummies.com/how-to/content/what-are-hybrid-vehicles.html>>
- [25] *Ehow.com* [online]. 31.03.2011 [cit. 2012-02-21]. Dostupné z WWW:
<http://www.ehow.com/info_8135493_ways-preserve-limited-energy-resources.html>
- [26] *Europecarnews.com* [online]. 30.08.2011 [cit. 2012-02-29]. Dostupné z WWW:
<<http://www.europecarnews.com/2011/09/lexus-introduces-2013-gs-450h-full-hybrid-sedan-video-and-slideshow/>>
- [27] *Evwaudi.com* [online]. c2012 [cit. 2012-02-07]. Dostupné z WWW:
< <http://www.evwaudi.com/blog/wp-content/uploads/2011/03/audi-duo-3.jpg>>
- [28] *Fuelcellmarkets.com* [online] c2012 [cit. 2012-03-27]. Dostupné z WWW:
<http://www.fuelcellmarkets.com/images/articles/1/fcell_diagram_alkaline.gif>
- [29] *Geekalerts.com* [online]. 1.10.2011 [cit. 2012-03-13]. Dostupné z WWW:
<<http://www.geekalerts.com/u/Fuel-Cell-Car-Kit1.jpg>>
- [30] *Google.cz* [online] c2011 [cit.2012-03-20]. Dostupné z WWW:
<<http://sitemaker.umich.edu/section4group1/files/hydrogen.jpg>>
- [31] *Google.cz* [online]. c2012 [cit. 2012-02-08]. Dostupné z WWW:
<<http://releasecandidateone.com/assets/refuel-widget-icon.png>>



-
- [32] HOŘČÍK, Jan. *Hybrid.cz* [online]. 1.10.2009 [cit. 2012-02-08]. Dostupný z WWW: <<http://www.hybrid.cz/clanky/historie-hybridnich-aut-2-dil>>.
- [33] HOŘČÍK, Jan. *Hybrid.cz* [online]. 2.10.2009 [cit. 2012-02-08]. Dostupný z WWW: <<http://www.hybrid.cz/clanky/historie-hybridnich-aut-3-dil>>.
- [34] HOŘČÍK, Jan. *Hybrid.cz* [online]. 2.10.2009 [cit. 2012-02-08]. Dostupný z WWW: <<http://www.hybrid.cz/obrazky/toyota/hybridni-auta/prius-prvni-generace.jpg>>.
- [35] HOŘČÍK, Jan. *Hybrid.cz* [online]. 30.9.2009 [cit. 2012-02-07]. Dostupný z WWW: <<http://www.hybrid.cz/clanky/historie-hybridnich-aut-1-dil>>.
- [36] HOŘČÍK, Jan. *Hybrid.cz* [online]. 9.5.2012 [cit. 2012-05-16]. Francouzská kráska Zoe na sněhu. Dostupný z WWW: <<http://www.hybrid.cz/francouzska-kraska-zoe-na-snehu>>.
- [37] *Hybrid.cz :alternativní pohony, elektromobily, LPG, CNG, palivové články, ekologie* [online]. c2010 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z WWW: <<http://www.hybrid.cz/francouzska-kraska-zoe-na-snehu>>
- [38] *Hytep.cz* [online]. 17.4.2007 [cit. 2012-03-27]. Dostupné z WWW: <<http://www.hytep.cz/?loc=article&id=5>>
- [39] *Inhabitat.com* [online]. 03.02.2010 [cit. 2012-02-28]. Dostupné z WWW: <<http://inhabitat.com/918-spyder-is-porsches-first-ever-plug-in-hybrid-electric-car/>>
- [40] *Jalopnik.com* [online]. c2012 [cit. 2012-02-08]. Dostupné z WWW: <<http://cache.jalopnik.com/assets/images/12/2011/11/f3792db48c624ae7464f4ea33a6068c0.jpg>>.
- [41] *Jalopnik.com* [online]. c2012 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z WWW: <http://cache.jalopnik.com/assets/images/12/2010/03/nissan_leaf.jpg>.
- [42] *Lidovky.cz* [online]. 23.11.2008 [cit. 2012-02-08]. Dostupné z WWW: <http://www.lidovky.cz/zasoby-ropy-vystaci-nejmene-na-dve-staleti-f24-/ln_ekonomika.asp?c=A081123_153436_ln_ekonomika_ter>.
- [43] *Maps.google.com* [online] c2012 [cit. 2012-05-15]. Dostupné z WWW: <<https://maps.google.com/maps/ms?ie=UTF8&hl=cs&msa=0&msid=103520311686628033712.00043df21388580885a31&z=7&om=1>>
- [44] *Mhdzive.cz* [online]. c2012 [cit. 2012-05-18]. Dostupné z WWW: <http://mhdzive.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=393:emisni-norma-euro-6&catid=167:clanky&Itemid=305>
- [45] *Petroleum.cz* [online]. 2007-2012 [cit. 2012-02-08]. Dostupné z WWW: <<http://www.petroleum.cz/ropa/vyskyt-ropy-budoucnost.aspx>>
- [46] *Play-auto.net* [online]. 24.03.2011 [cit. 2012-02-27]. Dostupné z WWW: <<http://www.play-auto.net/wp-content/uploads/2010/05/hybrid-badage.jpg>>



-
- [47] *Teslamotors.com* [online]. c2012 [cit. 2012-02-08]. Dostupné z WWW: <<http://www.teslamotors.com/models/gallery#2>>.
- [48] *Trihybus.cz* [online] c2008 [cit. 2012-03-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.trihybus.cz/vyroba-vodiku>>
- [49] *Trihybus.cz* [online] c2008 [cit. 2012-03-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.trihybus.cz/skladovani-vodiku>>
- [50] TYLEČEK, Jiří. *Finance.idnes.cz* [online]. 28.2.2011 [cit. 2012-02-07]. Dostupný z WWW: <http://finance.idnes.cz/zasoby-ropy-jsou-bohate-tak-proc-ta-panika-fin-inv.aspx?c=A110225_152425_inv_sov>.
- [51] *Zuko.com* [online] c2008 [cit.2012-03-28]. Dostupné z WWW: <<http://www.zuko.com/timeWarp/Fast-Forward%20Images/Pem.gif>>