



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILOVÉHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

SROVNÁNÍ EKOLOGICKÉHO DOPADU RŮZNÝCH KONCEPCÍ POHONU AUTOMOBILU

COMPARISON OF THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF DIFFERENT CAR'S DRIVE CONCEPT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

FILIP KOPCA

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

ING. LUBOR ZHÁŇAL

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství
Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Filip Kopca

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

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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:

Srovnání ekologického dopadu různých koncepcí pohonu automobilu

v anglickém jazyce:

Comparison of the environmental impact of different car's drive concept

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Bakalářská práce by měla obsahovat detailní porovnání všech ekologických hledisek během celého životního cyklu automobilu s různými druhy pohonu.

Cíle bakalářské práce:

Porovnání ekologického dopadu automobilu v dílčích (výroba, provoz, likvidace) i celkovém životním cyklu pro pohon realizovaný zážehovým motorem, vznětovým motorem, elektrickým motorem a hybridní soustavou.

Seznam odborné literatury:

1. KAMEŠ, J. Alternativní pohony automobilů. BEN – Technická literatura, 1. vydání, Praha 2004. ISBN 80-7300-127-6
2. VLK F.: Alternativní pohony motorových vozidel. Brno: Prof. Ing František Vlk, DrSc. 1. vydání, Brno 2004. ISBN 80-239-1602-5

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Lubor Zháňal

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014. V Brně, dne 21.11.2012

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty



ABSTRAKT

Práca opisuje skladbu a fungovanie jednotlivých pohonov, skúma a porovnáva mieru ich škodlivosti voči životnému prostrediu. Od získavania, spracovania a distribúcie surovín potrebných na výrobu automobilov a palív, množstvo spotrebovaného paliva a energie, produkciu emisií počas celého životného cyklu, prostriedkov potrebných na údržbu až po nároky na likvidáciu odpadu a možnosti recitovateľnosti.

KLÍČOVÉ SLOVÁ

suroviny, emisie, spotreba, palivo, recyklácia, energia, efektivita, životnosť

ABSTRACT

This thesis describes structure and operation of particular car's drive mechanisms, examine and compares their level of harmfulness against living environment. From acquisition, manipulation and distribution of raw material needed for manufacturing vehicles, amount of used propellant, production of emissions during life cycle, resources needed for maintenance, demands of waste disposal and possibilities of recycling.

KEYWORDS

materials, emissions, consumption, propellant, recycling, energy, efficiency, lifespan



BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

KOPCA, F. Srovnání ekologického dopadu různých koncepcí pohonu automobilu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 49 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Lubor Zháňal.



ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že táto práca je mojím pôvodným dielom, spracoval som ju samostatne pod vedením Ing. Lubora Zháňala s použitím literatúry uvedenej v zozname.

V Brně dne 30. května 2014

.....

Filip Kopca



POĎAKOVANIE

Týmto by som chcel poďakovať Ing. Luborovi Zháňalovi za cenné rady a podnetnú kritiku pri tvorbe mojej práce.



OBSAH

Úvod	9
1 Popis skladby a fungovania	10
1.1 Benzínový a Dieslový spalovací motor	10
1.1.1 Ďalšie verzie spalovacích motorov	11
1.1.2 Olovený akumulátor	13
1.2 Elektrický pohon	14
1.2.1 Asynchrónny striedavý motor s cudzím budením	14
1.2.2 Synchronný motor s permanentnými magnetmi	15
1.2.3 Batérie a akumulátory – zdroje pohonnej energie	15
1.3 Hybridný pohon	18
1.4 Elektrický pohon s vodíkovým palivovým článkom	19
1.4.1 Palivový článok	20
2 Preádzka	21
2.1 Emisie	21
2.2 Porovnanie pohonov	26
2.3 Údržba	27
3 Výroba / likvidácia	28
3.1 Rozbor materiálov automobilov	29
3.1.1 Kovy	30
3.1.2 Sklo	31
3.1.3 Plasty	31
3.1.4 Guma	31
3.1.5 Materiály batérií	32
3.1.6 Materiály palivového článku	34
3.2 Palivá	34
3.2.1 Palivá pre spalovacie motory	36
3.2.2 Výroba elektriny	37
3.2.3 Výroba vodíka	39
Záver	41
Zoznam príloh	47



ÚVOD

Porovnanie ekologického dopadu rôznych koncepcií pohonu automobilu je téma vystupujúca do popredia od ropnej krízy v 70. rokoch minulého storočia a stále nabera na intenzite vďaka ubúdajúcim zásobám fosílnych palív ako aj uvedomeniu si škodlivosti činnosti automobilov pre okolie.

Táto situácia iniciovala vývoj alternatívnych pohonov automobilov, s ktorých sú dnes už mnohé úspešne aplikované v bežnej prevádzke. Aj tieto nové systémy však zanechávajú svoju stopu na životnom prostredí, zatiaľ čo sa „tradičné“ pohony evolučne vylepšujú z dôrazom na šetrnosť a ekologickosť. Každý pohon má svoje výhody a nevýhody čo sa týka funkčnosti aj v narúšaní životného prostredia. Moderný marketing však často skresľuje porovnania systémov pojednávaním iba v jednej z troch fáz životného cyklu automobilu - prevádzky.

Táto práca si dáva za úlohu definovanie jednotlivých koncepcií pohonov, stručné vysvetlenie ich fungovania a čo najprehľadnejšie nestranné vzájomné porovnanie ich dopadu na životné prostredie počas celého životného cyklu automobilu, spolu s odôvodnením a menovaním konkrétnych problémov každého pohonu.



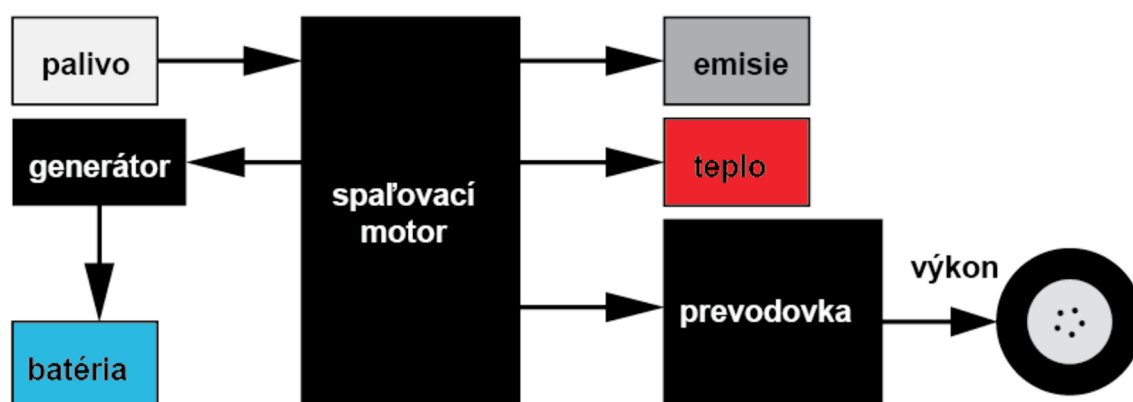
Obr. 1 Príklady rôznych platform pohonného ústrojenstva automobilov [63][64][65].



1 POPIS SKLADBY A FUNGOVANIA

1.1 BENZÍNOVÝ A DIESELOVÝ SPALOVACÍ MOTOR

Je mechanický tepelný stroj, ktorý spaľovaním paliva premieňa jeho potenciálnu (chemickú) energiu na tepelnú a mechanickú energiu. Tepelná energia je nežiaduca, vzniká trením pohyblivých častí motoru ako aj samotným spaľovaním a odčerpáva sa chladiacim mechanizmom. Mechanická energia (expanzia horiaceho paliva) je vo valci usmernená jedným smerom a piestom prenášaná na kľukovú hriadeľ. Týmto mechanizmom sa posuvný pohyb mení na rotačný následne je krútiaci moment prenášaný pomocou prevodovky a ďalšieho pohonného ústrojenstva na kolesá automobilu.



Obr. 2 Schéma pohonu so spaľovacím motorom.

Najčastejšie sa používa štvortaktný spaľovací motor, jednotlivé takty sú udané polohou piestu vo valci. Dvojtaktné motory sa používali v osobných autách najmä v minulosti, dnes už len v motocykloch, štvorkolkách a v niekoľkých mini automobiloch.

1. takt – sanie. Piest vo valci klesá, čím sa vytvára podtlak a cez otvorený ventil nasávania sa do spaľovacej komory dostáva pohonná zmes (benzín + kyslík). 2. takt – kompresia. Ventily sú zatvorené, piest vo valci stúpa čím stláča palivovú zmes a s tým spojené zahrievanie zvyšuje jeho chemickú energiu. Pomer objemu valca v polohe piestu v dolnej úvrati a v hornej úvrati určuje kompresný pomer, dôležitý konštrukčný parameter spaľovacích motorov. 3. takt – expanzia. Ventily sú stále zatvorené. V hornej úvrati na rozhraní 2. a 3. taktu dôjde k zapáleniu paliva sviečkou/výbojkou, následná explózia ženie piest smerom k dolnej úvrati, tento tak poháňa celý mechanizmus. Väčší počet valcov má za následok plynulejší chod motoru, pri 4 valcoch je pri každom takte jeden poháňaný expanziou. 4. takt – výfuk. Je otvorený ventil výfuku a piest vo valci stúpa čím je spálená plynná zmes vytlačená z valca, opúšťa motor a následne automobil cez výfukové potrubie v podobe exhalátov. Tieto plyny obsahujú škodlivé látky, sčasti filtrované vo výfukovom potrubí. Výfuk tiež tlmí zvuk explózií. Tvar a dĺžka výfuku dokáže meniť výkon a charakter motoru. 4 takty motoru sa periodicky opakujú.

Otváranie ventilov je realizované stláčaním vačkami vačkových hriadeľov, ktoré sú synchronizované s kľukovým hriadeľom za pomoci prevodov. Zapálenie paliva je ovládané rozdeľovačom alebo elektrickou riadiacou jednotkou motoru.



Kompresný pomer je konštrukčný parameter ktorý zásadne ovplyvňuje dosiahnuteľnú účinnosť a výkonové charakteristiky motora, pri správnej voľbe znižuje emisie motorov. Čím je kompresný pomer väčší dochádza k väčšiemu stlačeniu zmesi pred zapálením. Zvýšením kompresného pomeru prichádzajú aj nevýhody: môže dôjsť k predčasnému samovznieteniu paliva (najmä pri zážihových motoroch) čiže detonačné spaľovanie a niektoré súčasti motora môžu byť časom opotrebované viac než pri menšom kompresnom pomere, preto je potrebné takýto motor vybaviť odolnejšími súčiastkami, ktoré bývajú drahšie (väčšinou sa jedná o keramické a titánové diely). Z dôvodov zabránenia detonačného spaľovania zvyčajne kompresný pomer zážihových motorov nepresahuje hodnotu 10:1. Motory opatrené snímačom detonačného spaľovania, elektronickou riadiacou jednotkou alebo ďalšími vylepšeniami však môžu mať zvýšený kompresný pomer až do 14:1 (Mazda6 2013). U prepĺňaných zážihových motorov je kompresný pomer okolo 8.5:1. Vznetové motory dosahujú kompresný pomer až na úrovni 20:1 alebo aj vyšší, preto sú skonštruované prevažne z odolnejších zliatin (na rozdiel od hliníkových blokov zážihových motorov) a taktiež spaľujú samovznieteniu odolnejšiu naftu.

Najstaršie zariadenie na prípravu zmesi je karburátor (nasadený na sacom potrubí, priamo na motore). Ide o mechanické zariadenie, ktoré v závislosti od typu, rôznymi spôsobmi mieša nasávaný vzduch z benzínom a snaží motoru pripraviť čo najvhodnejšiu zmes v závislosti na výkone, otáčkach a ďalších pár parametroch. Výkon motora sa reguluje klapkou, ktorá obmedzuje prietok vzduchu. Drvivá väčšina novodobých áut využíva práve elektronické (nepriame) vstrekovanie paliva. Najjednoduchším je tzv. jednobodové vstrekovanie niekedy označované single point injection (SPI). To znamená, že dokáže pripraviť len jeden tok zmesi. Vstrekovanie nahrádza karburátor a je tiež umiestnené na sacom potrubí. Palivo je potom vstreknutá do sacieho kanálu, kde sa delí medzi jednotlivé valce (rovnako ako u jedného karburátoru). Aktuálne väčšina benzínových áut využíva viacbodové nepriame vstrekovanie. Stále viac a viac sa však začína používať priame vstrekovanie. Hlavným rozdielom je tlak, s ktorým operuje. Palivo je totiž vstrekované priamo do valcov a sacím potrubím prichádza väčšinou len vzduch. Hlavnou výhodou je veľmi presné dávkovanie paliva čo sa množstva, aj momentu vstreknutia týka. Zníži sa tým aj detonačné horenie paliva. Rozdiely medzi benzínovým a naftovým motorom sa postupne vytrácajú. Niekoľko výrobcov totiž vyvíja motor s kompresným pomerom ako u naftového. Jazdiť by však mal na benzín. To vyústi vo vyššiu efektívnosť a nižšie emisie.

Pri expanzii a spaľovaní vo valci motora dosahuje teploty až 2000 °C v prípade zážihového motora a až 2500 °C v prípade vznetového. Chladenie sa rozdeľuje podľa chladiaceho média na vzduchom, vodou alebo olejom chladené motory. Najrozšírenejšie je chladenie vodou, ktorá je prečerpávaná medzi kanálikmi v bloku motora a chladičom s veľkou plochou ktorým prúdi pri jazde okolitý vzduch.

1.1.1 ĎALŠIE VERZIE SPALOVACÍCH MOTOROV

Spaľovací motor môže mať aj viacero foriem: turbínový (prúdový) motor, motor s rotujúcim piestom, atď. Turbínový sa však našiel uplatnenie najmä v leteckom priemysle. Štvortaktný spaľovací motor je platforma ktorá sa dá ľahko modifikovať, vylepšovať, nastavovať. Často je jeden blok motora používaný viacerými automobilkami, niekoľko generácií a v autách s úplne rozdielnymi účelmi (športový automobil, rodinný sedan, terénny pick-up). Toto umožňuje množstvo súčiastok, mimo samotný blok motora, ktoré ovplyvňujú charakteristiku motora. Existujú tiež motory, ktoré dokážu spaľovať niekoľko druhov paliva, alebo sa dajú ľahko zmodifikovať.



PREPLŇOVANÝ MOTOR

Preplňovanie zvyšuje efektivitu motora dôsledkom tlakového plnenia vzduchu do spaľovacej komory, zvyšuje tak koncentráciu kyslíka v pomere k benzínu a umožňuje tak dôkladnejšie vyhorenie paliva. Dosahuje sa vháňaním vzduchu do motora pod tlakom na rozdiel od sania v dôsledku podtlaku vo valci. Preplňovanie je realizované kompresorom alebo turbom. Kompresor stláča a nasáva vzduch pričom k jeho pohonu je vyžadovaná časť mechanickej energie motora, pričom však jeho výkon zvyšuje. Výhodou je, že pracuje v každých otáčkach motora. Nevýhodou je mechanický hluk, vyššia cena a nižší maximálny plniaci tlak oproti turbomotorom. Turbo (turbodúchadlo) je turbína ktorej hnacia časť je umiestnená vo výfukovom potrubí a hnaná v potrubí nasávajúcim vzduch do motora. Na to aby turbo pracovalo efektívne je potrebná určitá hodnota tlaku vo výfukovom potrubí, je teda efektívne iba v užšom pásme otočiek a má pomalú odozvu - zvýšenie výkonu sa dostavuje oneskorene. Tento jav môže byť korigovaný použitím viacerých turbín rôznych veľkostí reagujúcich na iný tlak a spoločne tak pokrývajú väčšie spektrum otáčok. Turbo je však často problematickou súčasťou motora s pohľadom spoľahlivosti.

WANKELOV MOTOR

Wankelov motor je motor s rotujúcim trojuholníkovým piestom, ktorý svojim pohybom vytvára plynulé, cyklické zväčšovanie a zmenšovanie pracovného priestoru medzi valcom a piestom. Rotujúce komponenty tohto motora vzájomne eliminujú odstredivé sily viac ako v piesty štvortaktnom motore čo výrazne prispieva ku kultivovanosti chodu. Wankelov motor má nižší výkon pri rovnakom objeme, porovnateľnú spotrebu paliva no menšiu váhu, menší vonkajší objem a tiež nižšie emisie oxidov dusíka. Výhodou je tiež jednoduchosť konštrukcie oproti 4taktnému motoru (nižší počet súčiastok, kanálový rozvod sania a výfuku). Tesnenia trojuholníkového piestu sa však kvôli atypickému tvaru a väčšiemu namáhaniu rýchlo opotrebovávajú a občas vyžadujú nákladnú údržbu. Motor má tiež zvýšenú spotrebu a oleja v porovnaní inými spaľovacími motormi a s tým spojené zvýšené emisie škodlivých plynov. Wankelov motor bol najmä automobilkou Mazda niekoľkokrát vylepšený a úspešne aplikovaný v praxi, táto platforma sa však nestretla z masovým rozšírením najmä kvôli nízkej variabilite konštrukcie a vyššej náročnosti a nákladoch na presnú výrobu najmä piestu a skrine.

MOTOR SPAĽUJÚCI OLEJ, BIONAFTU, ETANOL, VODÍK, ZEMNÝ A ROPNÝ PLYN

Univerzálnosť a ľahká modifikácia spaľovacích motorov umožňuje využiť aj alternatívne palivá menej zaťažujúce životné prostredie pri výrobe a znižujúce emisie pri spaľovaní. V krajinách Európy je používanie týchto palív rôzne legislatívne podporované oslobodením od spotrebnej či cestnej dane.

Dieselový motor dokáže spaľovať aj použitý rastlinný olej (odpad reštauračných zariadení) alebo bionaftu. Bionafta je alternatívne palivo vyrábané kombináciou rastlinných alebo živočíšnych olejov s naftou na báze ropy. Označenie B5 znamená 5 % podiel bionafty, B100 je čistá bionafta. Pokiaľ však si však má udržať spoľahlivosť po dlhšiu dobu je nutné vymeniť ventily, tesnenia, hadičky a filtre, prípadne palivovú pumpu na odolnejšie súčiastky aby ich agresívnejší olej neporušil.

Palivo E85 je zmes 85 % etanolu a 15 % natural benzínu. Tento pomer je môže kolísať ale etanolu musí byť najmenej 70 %. Etanol je ekologické palivo, ktoré znižuje množstvo niektorých emisií (70 % menej CO₂), vyrábané je z obnoviteľných lokálnych zdrojov fermentáciou cukrovej repy. Má vyššie oktánové číslo ako bežný benzín a dokáže tak zvýšiť



výkon motoru o 10–15 %. Palivo E85 je testované a spĺňa požiadavky ČSN 656512 (Motorová paliva - Ethanol E85 - Technické požiadavky a metódy zkoušení). Je určené pre modely automobilov FFV (Flexi Fuel Vehicle) alebo pre akýkoľvek voz upravený na jeho spaľovanie. V Európe je palivo E85 najviac používané vo Švédsku, kde je v prevádzke viac ako 16 tisíc vozidiel FFV a počet plniacich staníc je viac ako 250.

LPG (anglicky Liquefied Petroleum Gas) je skvapalnený ropný plyn, jedná sa o zmes, ktorú tvoria dva plyny: propán a bután. V druhej polovici 20. storočia bol propán bután široko používaný ako výhrevný plyn v domácnostiach. Využitie nachádza v zážihových motoroch osobných automobilov. Výhody pohonu na plyn LPG sú najmä nízka cena (zhruba 50 % voči benzínu aj naftu) [58], nižšia hlučnosť a väčšia kultivovanosť motoru vďaka oktánovému číslu 101–111, zníženie emisii. Nevýhodami je menšie zvýšenie spotreby, pokles výkonu zhruba o 5 % a objemná nádrž, najmä pokiaľ je modifikovaný pôvodne benzínový motor a auto musí mať prídavnú nádrž v batožinovom priestore. Počet vozidiel s pohonom LPG na území ČR je cca 200 000. Počet čerpacích staníc LPG na území ČR je cca 900.

CNG (angl. Compressed Natural Gas) je stlačený zemný plyn (tlak 200 barov). Zemný plyn sa nachádza v podzemných náleziskách buď samostatne, alebo spoločne s ropou a vodou. Zemný plyn je viac ako 90 % čistý metán. Ide o čistejšiu alternatívu k benzínu a motorovej naftu, dokonca aj ropnému plynu LPG. Výroba zemného plynu totiž nie je závislá na ropu a to ani existenčne ani ekonomicky. Výhodami je nižšia cena, vysoké oktánové číslo 130, väčšia kultivovanosť chodu, menej emisii. Veľkou nevýhodou je zložitý skladovanie, výstavba čerpacích staníc je nákladná preto sa využíva CNG pohon najmä s lokálnou pôsobnosťou napr. taxislužby a autobusové dopravné podniky.

Bioplyn vzniká biologickým rozkladom organických látok. Ide o zložitý viacstupňový proces pôsobenia mikroorganizmov na konci ktorého vzniká bioplyn, ktorý sa v ideálnom prípade skladá z dvoch plynných zložiek metánu CH_4 50–70 % a oxidu uhličitého CO_2 . V praxi je však bioplyn doplnený plynmi H_2 , H_2S atď. Bioplyn je možné použiť všade tam, kde sa používajú aj iné plynné palivá vrátane spaľovacích motorov alebo turbín.

Vodík ako pohonná hmota spaľovacích motorov bola použitá v niekoľkých prototypoch automobiliek BMW a Mazda. Kvôli komplikáciám spojeným so skladovaním vodíku, nízkej efektívnosti týchto motorov a množstve energie potrebnej na výrobu vodíku sa však tento typ pohonu nerozšíril.

1.1.2 OLOVENÝ AKUMULÁTOR

Olovený akumulátor je galvanický článok s elektródami na báze olova ktorého elektrolytom je kyselina sírová. Hlavnou výhodou olovených akumulátorov je schopnosť dodávať vysoké rázové prúdy. Táto vlastnosť, spolu s nízkou cenou je vhodná k štartovaniu automobilu.

V nabitom stave tvorí aktívnu hmotu zápornej elektródy hubovité olovo Pb a kladnej elektródy oxid olovičitý, PbO_2 . Elektrolytom je vodou zriedená kyselina sírová H_2SO_4 s koncentráciou približne 35 % v stave úplne nabitého akumulátoru. Tento roztok môže byť z technických dôvodov nasiaknutý do vaty zo sklenených vlákien alebo stužený do formy gélu. Vybíjaním sa aktívna hmota zápornej rov. (2) aj kladnej rov. (1) elektródy premieňa na síran olovnatý PbSO_4 a elektrolyt je ochudobňovaný o kyselinu sírovú a obohacovaný o vodu. Celková reakcia znázornená rov. (3). Vybíjanie akumulátoru prebieha aj samovoľne bez pripojenia k elektrickému obvodu. Rýchlosť samovybíjania je zhruba 3–20% kapacity za mesiac pričom horná hranica sa týka starších typov. Ďalšou nevýhodou je jav sulfatácie, ktorý

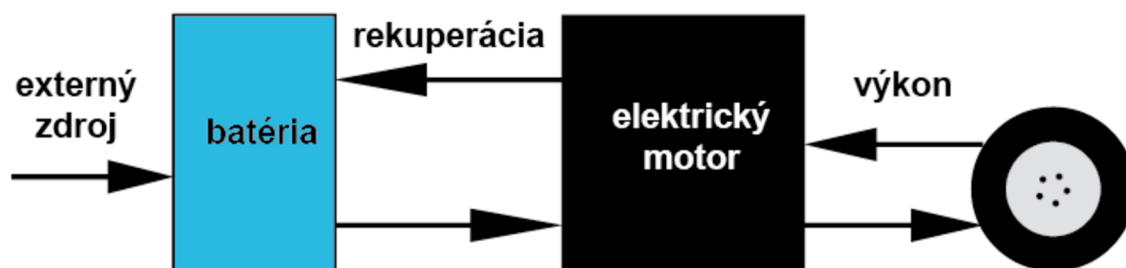


znižuje jeho kapacitu trvalo. Nastáva keď je akumulátor dlhšie ponechaný v nedostatočne nabitom prípadne vybitom stave. Ide o postupný vznik kryštalického síranu olovnatého premenou z pôvodne amorfného síranu. Vzniknuté kryštály sa na chemickej premene elektród podieľajú v obmedzenej miere. V istej miere sa dá kapacita opäť obnoviť upraveným nabíjaním.



1.2 ELEKTRICKÝ POHON

Využíva elektromotor k premene elektrickej energie na mechanickú, ktorá poháňa automobil a nežiaducu tepelnú, spôsobenú trením rotujúcich súčastí a odporom vodičov. Najčastejšie používanými elektrickými motormi v automobiloch sú: synchronný striedavý motor s cudzím budením a najmä synchronný motor s permanentnými magnetmi. Elektrické automobily väčšinou využívajú jediný prevod.



Obr. 3 Schéma pohonu s elektrickým motorom a batériami.

Motor využíva jav elektrickej indukcie kedy elektromagnetické pole vodiča s nábojom (alebo permanentného magnetu) umiestnené na statore bezkontaktno silovo pôsobí na iný vodič (magnet) rotora. Táto sila ktorá môže byť odpudivá alebo príťažlivá v elektromotore roztáča rotor, jediný pohyblivý diel elektrického motora. Prepínanie polarít cievok (magnetov) potrebné na zachovanie silového pôsobenia medzi statorom a rotor pri otáčaní má za úlohu komutátor.

1.2.1 ASYNCHRÓNNY STRIEDAVÝ MOTOR S CUDZÍM BUDENÍM

Tok energie medzi rotorom a statorom je realizovaný iba pomocou elektromagnetickej indukcie, to znamená, že cievky sú umiestnené na statore aj rotore, preto sa často tento motor označuje ako indukčný. Striedavé jednofázové alebo trojfázové napätie prechádza cievkami statoru a vytvára rotujúce magnetické pole. Toto magnetické pole vyvoláva silu otáčajúcu rotorom. Otáčky točivého poľa sú dané kmitočtom napájajúceho napätia a počtom pólov trojfázového motoru. Pri bežnej – stálej záťaži sa rotor neotáča rovnakými (synchronnými) otáčkami ako magnetické pole statoru, pre generovanie momentu je treba v otáčkach zachovávať rozdiel, keďže pri synchronných otáčkach by sa magnetické polia voči sebe nepohybovali a nevznikala by točivá sila. Miera tohoto rozdielu otáčok sa nazýva sklz.



Ovládanie asynchrónneho motoru majú za úlohu frekvenčné meniče vďaka ktorým môže pracovať v širokom spektre otáčok.

Výhodou asynchrónneho motora je absencia komutátora a kolektora vďaka ktorej možno dosiahnuť väčších otáčok (20 000 ot/min). Je silne preťažiteľný a má potenciálne vyššiu priemernú efektívnosť. Nevýhodami sú náklady na zložitejšie výkonové riadiace obvody, spínajúce jednosmerný prúd akumulátoru na striedavý a zabezpečujúce premenlivú frekvenciu aj napätie. Rekuperácia energie z brzdenia je možno realizovať s vysokou účinnosťou. Vozidlá v produkcii využívajúce túto technológiu: MINI-E, Tesla Roadster, Tesla Model S, Think City

1.2.2 SYNCHRÓNNY MOTOR S PERMANENTÝMI MAGNETMI

Motor má prevrátenú schému s vonkajším rotorom a vnútorným statorom, ktorá využíva vo svoj prospech závislosť magnetickej indukcie na konštrukčných rozmeroch motora. Závislosť vzduchovej medzery medzi statorom a rotorom, axiálnej dĺžke rotoru a kvadrátu polomeru vzduchovej medzery. Vďaka kvadrátu ovplyvňuje polomer vzduchovej medzery magnetickú indukciu najväčšou mierou, takže je výhodné použiť vonkajší rotor. Rotor tvoria prevažne lisované elektroplechy – oddelené vrstvené magnety so striedavou polaritou. Na statore tvoria elektroplechy nosiče cievok, ktoré sú napojené na výkonovú elektroniku. Motor sa chová ako jednosmerný motor s cudzím budením, na rozdiel od bežného jednosmerného motoru teda komutuje elektronicky nie mechanicky. Regulácia otáčok je jednoduchá a presná v celom spektre otáčok už od rozbehu. Výhodami sú malé rozmery a váha, jednoduché chladenie a riadenie, vyššia maximálna efektívnosť. Nevýhodami magnetické straty pri väčších rozmeroch a vysoké náklady na magnety a manipulačné problémy spojené so silnými magnetmi. Tieto motory dominujú automobilovému trhu. Vozidlá v produkcii využívajúce túto technológiu: BMW ActiveE, Chevrolet Volt, Ford Focus EV, Fisker Karma, Mitsubshi iMIEV, Mercedes-Benz A-Class E-Cell, Nissan Leaf, Renault Fluence Z.E., Smart electric drive, Toyota Prius PHV a väčšina hybridných vozidiel.

1.2.3 BATÉRIE A AKUMULÁTORY

Majú ekvivalentnú úlohu ako nádrže pre spaľovacie motory, uskladňujú energiu potrebnú k prevádzke motora. Vzhľadom na technológiou obmedzenú kapacitu ide najslabší článok elektrického pohonu, preto je im z celého systému pripisovaná aj najväčšia dôležitosť. Najmodernejšie úsporné dieselové autá presahujú s bežnou veľkosťou nádrže dojazd 1000 km, zatiaľ čo najmodernejšie elektrické autá rovnakej triedy a cenovej kategórie s Li-Ion akumulátormi 100–200km. Výkon akumulátora je definovaný týmito vlastnosťami:

Merná energia [Wh/kg] vyjadruje množstvo energie na jednotku hmotnosti táto jednotka vyjadruje dojazd automobilu.

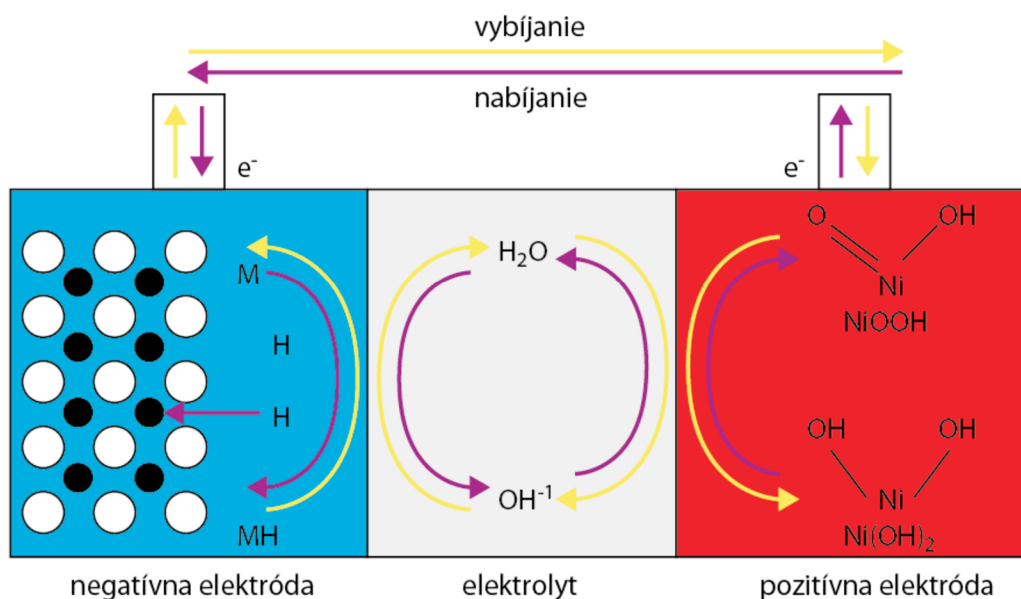
Merný výkon [W/kg] ovplyvňuje maximálnu rýchlosť a zrýchlenie automobilu

Nabíjacia doba [h] je spravidla niekoľko hodín, pri najnovších postupoch dokonca pod 1 hodinu, nie však na 100 % kapacity batérie. Posledných 20 % vyžaduje dlhšie nabíjanie za nižšieho prúdu.

Životnosť v cykloch a rokoch. Počet cyklov nabitia/vybitia ktorými môže prejsť akumulátor kým si prestane uchovávať väčšinu kapacity resp. keď klesne pod 80 % pôvodnej kapacity. Niektoré batérie starnú a strácajú kapacitu časom, bez ohľadu na to či sú používané alebo nie.

NI-MH AKUMULÁTOR

Konštrukcia vychádza s nikel-kadmiového akumulátoru. Materiál anódy však tvorí zliatina lanthanu, kobaltu, hliníku a mangánu, ktorá pri prevádzke vytvára metalhydrid. Nahradila tak škodlivé kadmium. Sú plne recyklovateľné a dosahujú vyššej mernej energie ako predchodcovia. Sú však drahšie a citlivejšie na nabíjanie a vybíjanie. Životnosť Ni-Cd akumulátorov dosahovala až 10 rokov, či 2000 cyklov, s použitím metalhydridu klesla však táto životnosť aj polovične. Tieto batérie boli vo veľkej miere nahradené výkonnejšími Lithium-Ionovými. Použité boli napríklad vo voze Toyota RAV4ev alebo niektorých modeloch hybridných vozidiel Toyota Prius a Honda Insight. Pre rýdzo elektrické automobily sa však Li-Ion batérie ukázali vhodnejšie, vďaka väčšiemu mernému výkonu.



Obr. 4 Schéma Ni-MH akumulátoru.

Rovnice (4–6) v znázorňujú chemické reakcie prebiehajúce v Ni-MH akumulátory pri vybíjaní. Anóda (rov. 4), katóda rov. (5), celková reakcia (rov. 6), pričom M symbolizuje kovové zlúčeniny, najčastejšie Lanthanoid (vzácna zemina) s Niklom, Cobaltom, Mangán alebo Hliníkom, MH je metalhydrát zlúčenina týchto kovov s vodíkom.



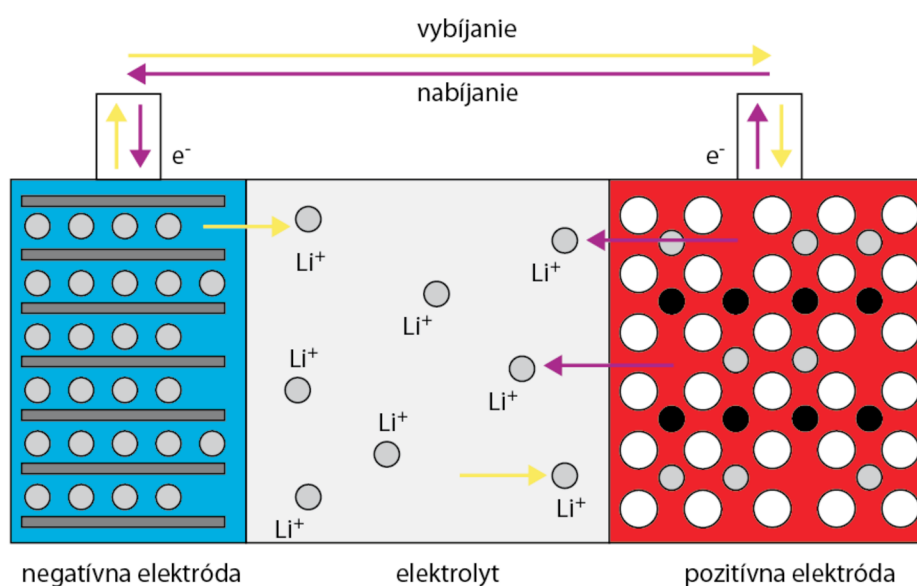
Parametre a výhody: Pomerne vysoká merná energia: 60–120 Wh/kg v porovnaní s Olovnatými akumulátormi 25 Wh/kg. Merný výkon: 250–1,000 W/kg. Životnosť: 500–2000 cyklov resp. 10 rokov. Nominálne napätie: 1,2 V. Oproti predchodcom má nižší pamäťový efekt [66].

LI-ION AKUMULÁTOR

Lítium-iónová batéria je v súčasnosti najpoužívanejší druh nabijateľnej batérie bežne používanej v spotrebnej elektronike. Vzhľadom k vysokej mernej energii sa hodí najmä na prenosné zariadenia, a rovnako na automobily. Názov naznačuje chemické zloženie tekutého elektrolytu, ktorý tvoria soli Lítia LiPF_6 , LiBF_4 alebo LiClO_4 v organickom rozpúšťadle ako etylén karbonát, dimetyl carbonát alebo dietyl karbonát. Elektrolyt prenáša elektróny medzi pozitívnou (oxidy želez) a negatívnou elektródou (uhlík), zatiaľ čo elektrický prúd obieha vo vonkajšom okruhu (spotrebič). Dovnútra batérie sa umiestňuje čip, ktorý kontroluje stav batérie a kontroluje priebeh nabíjania. Rovnice (7–9) v znázorňujú chemické reakcie prebiehajúce v Li-Ion akumulátory pri vybíjaní.



Anóda (rov. 8), katóda (rov. 7), celková reakcia (rov. 9), pričom XX symbolizuje rôzne kombinujúce sa prvky, napr. často používaný Cobalt a Mangán. Výhody Li-Ion batérie: Môže byť vyrobená v rôznych tvaroch. Veľmi vysoká merná energia: 100–250 Wh/kg. Nominálne napätie: 3,6 / 3,7 V. Takmer žiadne samovybíjanie: do 5 % v priebehu mesiaca, (Ni-MH 20 %). Výrazne znížený pamäťový efekt. Nieje potreba „formovať“ – niekoľkokrát nabiť a vybiť pred prvým použitím. Nevýhody: Batéria starne a stráca kapacitu bez ohľadu či je používaná alebo nie. Tento jav rastie s teplotou vyšším stavom nabitia a vyšším vybíjajúcim prúdom. Udržiavanie v približne 40 % kapacity zvyšuje životnosť. Nesmie sa nechať úplne vybiť a nesmie byť ponechaná vybitá. Potrebuje ochranný okruh pre udržanie napätia a prúdu v bezpečných limitoch. Životnosť: 400–1200 cyklov, no starnutie sa začína prejavovať už po 3 rokoch nezávisle na intenzite používania [66].



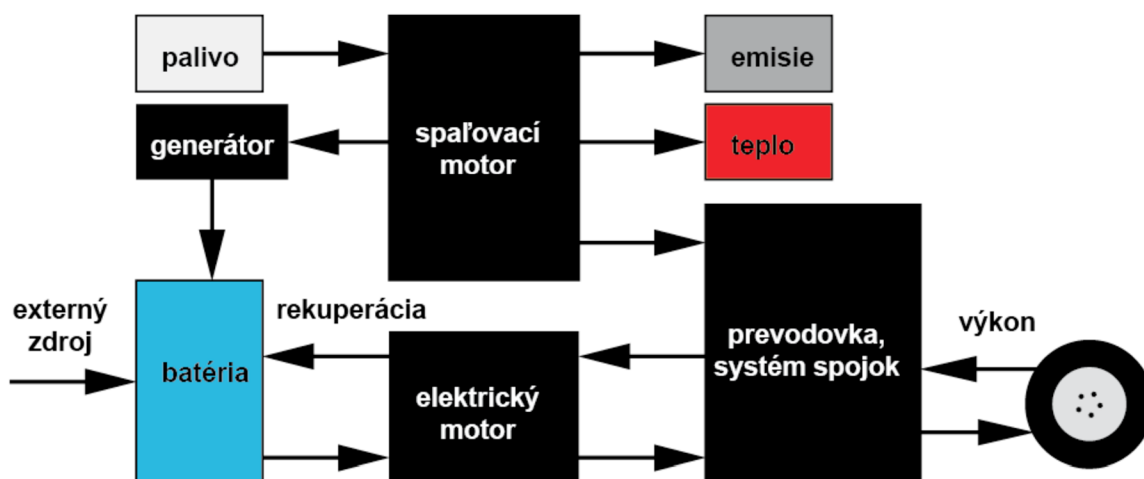
Obr. 5 Vnútna schéma Li-Ion akumulátora.

Riziko zlyhania: s moderným zabezpečením odhadované na 1 z 10–40 miliónov [4]. V minulosti štatistiky vykazovali viac prípadov. Zlyhania sa stávajú zriedka no ide o intenzívne horenie sprevádzané toxickým dymom. V niektorých prípadoch bolo nutné stiahnuť na náklady výrobcu z obehu celé výrobné série. Aerolínie majú tiež regulácie ohľadne prepravy akumulátorov z dôvodu bezpečnosti.

Zabráneniu porúch a potlačenie nevýhod napomáha správne používanie akumulátorov. Nissan pre svoj model Leaf vydal tieto odporúčania: Vyhnúť sa uchovávaní vozidla v teplotách nad 49 °C po viac ako 24 hodín, vyhnúť sa uchovávaní vozidla v teplotách menej ako -25 °C po viac ako 7 dní neprekročiť nabitie na 70–80 % kapacity pokiaľ sa používa rýchle nabitie častejšie ako 1 za týždeň, umožnite batérii vybiť sa pod kapacitu 80 % pred nabíjaním, nenechávať vozidlo vo vybitom alebo takmer vybitom stave po viac ako 14 dní.

1.3 HYBRIDNÝ POHON

Hybridné automobily kombinujú spaľovacie a elektrické motory. Podľa situácie a potreby pracuje iba jeden s motorov alebo oba naraz. Využívajú sa tak výhody oboch v snahe dosiahnuť ekonomickejšiu jazdu. Elektrickú energiu môžu čerpať generickým dobíjaním za pomoci spaľovacieho motoru alebo z externého zdroju, elektrickej siete. Nevýhodou hybridných pohonov je najmä komplikovanosť a vysoká hmotnosť vozidiel.



Obr. 6 Schéma hybridného pohonu so spaľovacím aj elektrickým motorom.

Sériové Usporiadanie hybridného pohonu resp. uloženie za sebou je podobné ako diesel-elektrický pohon niektorých malých lokomotív. Spaľovací motor spojený s generátorom elektrickej energie pracuje v optimálnom režime a ideálnych otáčkach, vytvárajúci energiu pre akumulátory a elektrický motor. Odstráni sa tak nežiaduci pracovný režim ako voľnobeh, akcelerácia a nevyužitie brzdenie čo prispieva k menej emisiám aj nižšej spotrebe paliva. Výkon na kolesá prenáša elektrický motor, schopný rekuperovať brzdnú energiu a s priebehom krútiaceho momentu výhodnejším pri akcelerácii. Nevýhodou je viacnásobná premena energie a veľké straty prispievajúce k mechanickej účinnosti celého systému asi 55 %. Toto usporiadanie využíva napr. luxusný sedan Fisker Karma. Väčšia automobilov s týmto usporiadaním primárne používa elektrický režim a spaľovací motor, spravidla malý dieselový agregát slúži na dobíjanie a zvýšenie dojazdu.

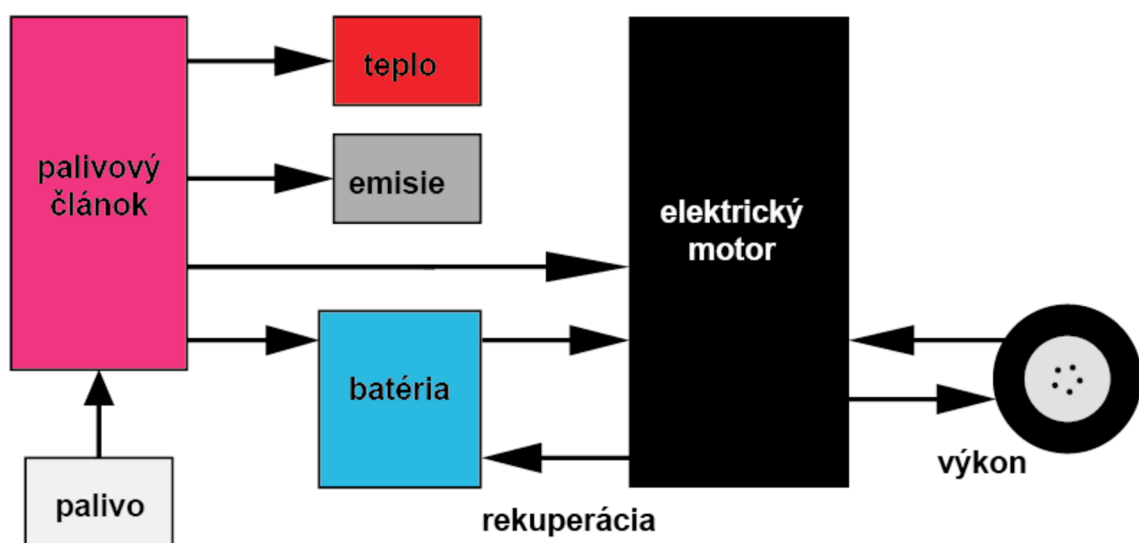


Paralelné usporiadanie hybridného pohonu resp. uloženie vedľa seba, kedy oba motory môžu fungovať samostatne alebo spolupracovať. Spaľovací motor vyžaduje prevodové ústrojenstvo, ktoré je spoločné aj pre elektromotor. V hybridnom režime môže elektromotor vypomáhať s akceleráciou zvýšením ťažnej sily pri nízkych otáčkach, spaľovací motor tak môže byť menší. Rovnako pri elektrickom režime (mestská premávka) môže byť spaľovací motor krátkodobo zapnutý k zlepšeniu jazdnej dynamiky. Nevýhodou tohto usporiadania je, že spaľovací motor môže dobíjať akumulátory iba v plne spaľovacom režime, limitujúcim faktorom dojazdu v elektrickom aj hybridnom režimu sú teda opäť akumulátory. Toto usporiadanie používa napr. hybridné vozidlo Honda Insight.

Sériovo-paralelné resp. zmiešané usporiadanie hybridného pohonu sa snaží odstrániť nevýhody predošlých usporiadaní, vďaka systému prevodov a spojok umožňuje pohon automobilu v hybridnom alebo spaľovacom režime a súčasné nabíjanie generátora. Rozvod výkonu môže byť realizovaný mechanicky alebo elektricky. Prvým vozidlom využívajúcim toto usporiadanie bolo Toyota Prius. Vznikajú tiež moderné športové verzie tohto usporiadania, ktoré nemajú za úlohu iba zvýšiť ekonomickosť a ekologickosť prevádzky ale najmä výkon automobilu. Príkladom je McLaren P1 používajúci elektromotor okrem mestskej prevádzky hlavne na vyplnenie výkonových medzier spôsobených odozvami biturbo systému jeho spaľovacieho motora.

1.4 ELEKTRICKÝ POHON S VODÍKOVÝM PALIVOVÝM ČLÁNKOM

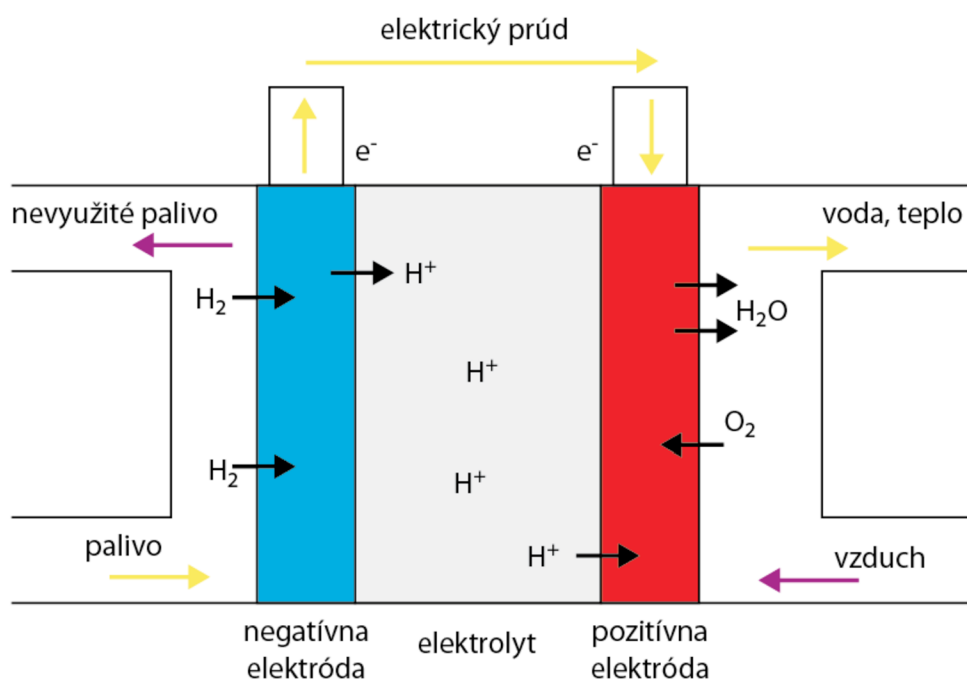
Chemická energia vodíku môže byť využitá nielen spaľovaním vodíku ale aj premenou na elektrickú energiu pomocou oksyľčovadla v palivovom článku. Vytvára tak akúsi palubnú elektrárňu a kombinuje dojazd a rýchle čerpanie spaľovacích motorov s bez emisnou, a tichou prevádzkou elektromotorov spolu s ich výhodnou momentovou charakteristikou. Jedinou emisiou týchto automobilov počas prevádzky je vodná para. Aplikáciu tohto systému v praxi brzdí najmä chýbajúca infraštruktúra čerpacích staníc a náročnosť výroby vodíku. Nevýhodami je veľkosť nádrže na vodík, nástupná doba palivového článku do plného pracovného stavu a jeho vnútorný odpor, ktorý znižuje účinnosť pri vysokom zaťažení.



Obr. 7 Schéma pohonu s elektrickým motorom a palivovým článkom.

1.4.1 PALIVOVÝ ČLÁNOK

Palivový článok je galvanický článok, skladajúci sa z dvoch elektród, ktoré sú oddelené membránou alebo elektrolytom. Palivo je privádzané k anóde a okysličovadlo ku katóde. Na katóde sa oxidačné činidlo, väčšinou kyslík, redukuje na anióny O_2^- , a tie potom reagujú s kationmi H^+ na vodu, ktorá je jedinou emisiou tohto procesu. Palivové články môžu pracovať nepretržite, pokiaľ nie je prerušený prívod paliva alebo okysličovadla k elektródam. Momentálne najrozšírenejšie vozidlo s týmto pohonom Honda FCX Clarity využíva palivový článok s tuhým polymérom a teflónovou membránou PEMFC (Proton exchange membrane fuel cell). Moderná alternatíva, ktorá nahradila alkalické palivové články používané v raketoplánoch. Prúd privádzaného vodíka H_2 je na anóde katalyticky štiepený na protóny $2H^+$ elektróny $2e^-$ [5]. Tieto protóny prechádzajú polymérovým elektrolytom na stranu katódy. Elektróny sú filtrované membránou ktorá vedie protóny, voči elektrónom je však nevodivá a sú usmernené do externých elektrických obvodov. Membrána musí byť tiež vzduchotesná. Na katóde nastáva redukčná oxidácia, keď molekuly kyslíku O_2 reagujú s protónmi a elektrónmi prichádzajúcimi na druhú stranu elektrolytu cez vonkajšie obvody. Ako katalyzátor na štiepenie molekúl vodíku je vhodná platina. Bohužiaľ štiepenie kyslíka je náročnejšie a aj s použitím platiny namiesto železa, dusíku, uhlíku dochádza k veľkým stratám. Vhodný katalyzátor z iných ako vzácnych kovov teda podlieha nepretržitému vývoju. Palivové články bývajú tiež citlivé na čistotu vodíku, prímеси môžu spôsobiť permanentné poškodenia vedúce k stratám výkonu.



Obr. 8 Vnútorňá schéma palivového článku PEMFC.



2 PREVÁDZKA

2.1 EMISIE

Vo výfukových plynoch spaľovacích motorov sa vyskytuje niekoľko stoviek látok, ktorých škodlivý účinok na životné prostredie bol preukázaný. Ich obsah vo výfukových plynách ako aj účinok na životné prostredie je rozdielny. Z hľadiska ochrany životného prostredia sa niektoré zložky výfukových plynov sledujú, dovoľené hodnoty sa sprísňujú a periodicita ich sprísňovania sa skracuje (v súčasnosti na približne 4 až 5 rokov). Obmedzovanie škodlivých emisií výfukových plynov vozidiel boli prvýkrát zavedené prvýkrát v roku 1968 v USA v štáte Kalifornia, kedy v amerických automobilkách nastalo doslova zdesenie. V tom čase kalifornský guvernér a neskorší prezident Ronald Reagan presadil nie len emisné limity vozidiel v cestnej doprave, ale zmenil aj celkovo systém vyberania daní v cestnej doprave, ktorý sa mimoriadne dobre osvedčil. Následne po Kalifornii nasledovali ďalšie štáty s emisnými limitmi (ostatné štáty USA, Japonsko a Európa). V Európe sa praktická aplikácia emisných limitov sa začala uplatňovať normou označovanou ako „Euro 1“, ktorú EHK predpisovala až od roku 1992. Potom pravidelne každé štyri roky sa emisné limity vozidiel sprísňovali až v roku 2009 nadobudla platnosť norma „Euro 5“, ktorá predstavoval vo výrobe vozidiel cestnej dopravy až vážny technický problém. Inžiniersky vývoj našiel riešenie postupným zdokonaľovaním spaľovania a výraznými zlepšeniami vo výfukovom potrubí, najmä pomocou amoniaku ktorý pomáha neutralizovať niektoré emisie a recykláciou výfukových plynov. Emisné normy sa stále sprísňujú, pre osobné automobily sa začne aplikovať norma „Euro 6“ od septembra 2014.

Etapa	Dátum	CO	HC	HC+NO _x	NO _x	Pevné častice
		g/km				
vznetové motory						
Euro 1	07/1992	2,72		0,97		0,14
Euro 2	01/1996	1		0,7		0,08
Euro 3	01/2000	0,64		0,56	0,5	0,05
Euro 4	01/2005	0,5		0,3	0,25	0,025
Euro 5	01/2011	0,5		0,23	0,18	0,005
Euro 6	09/2014	0,5		0,17	0,08	0,005
zážihové motory						
Euro 1	07/1992	2,72				
Euro 2	01/1996	2,2				
Euro 3	01/2000	2,3	0,2	0,2	0,15	
Euro 4	01/2005	1	0,1	0,1	0,08	
Euro 5	01/2011	1	0,1	0,1	0,06	0,005
Euro 6	09/2014	1	0,1	0,1	0,06	0,005

Tab. 1 Emisné limity osobných vozidiel kategórie M1 [18].

Splnenie emisných predpisov „Euro“ sa spravidla dosahuje rôznymi systémami dodatočnej úpravy výfukových plynov. Ide najmä o tieto zariadenia: katalyzátor (oxidačný, trojcestný alebo iný), filter pevných častíc, systém selektívnej katalytickej redukcie označovaný ako SCR (selective catalytic reduction), absorbér NO_x, pasívny alebo aktívny tenký katalyzátor NO_x, kombinovaný filter pevných častí a na zníženie emisií NO_x, systém recirkulácie výfukových a spaľovania plynov označovaný ako EGR (exhaust gas recirculation), a iné zariadenia inštalované za motorom.



Emisie spaľovacích motorov obsahujú stovky chemických látok v rôznych koncentráciách, ktorých biologické vlastnosti (účinky na zdravie človeka a účinky na životné prostredie) neboli doteraz jednoznačne určené. Spaľovacie motory sú zodpovedné za viac než 70 % globálnej produkcie CO emisií a 19 % CO₂. Mimo produktov dokonalého spaľovania, tzn. CO₂, H₂O, prebytku kyslíka, zvyškového dusíka, ktoré tvoria dominantné zastúpenie, sa vyskytuje celé množstvo plynov a pevných látok, z ktorých najväčšia pozornosť sa venuje oxidu uhoľnatému – CO, nespáleným uhl'ovodíkom – HC (parafíny, olefíny, aromatické uhl'ovodíky), čiastočne spáleným uhl'ovodíkom (aldehydy, ketóny), produktom štiepenia (acetylén, etylén, vodík, sadze), oxidu dusíka – NO_x, (oxid dusnatý, oxid dusný, oxid dusičitý) a pevným časticiam. To, aké zložky emisií obsahujú výfukové plyny, závisí od druhu použitého paliva.

OXID UHLIČITÝ, CO₂

Je bezfarebný, nehorľavý, málo reaktívny, ťažší než vzduch. Vzniká ako produkt biologických procesov, napríklad dýchania a kvasenia a ako produkt horenia zlúčenín uhlíka vo vzduchu. Pri normálnom tlaku v neviazanej forme sa vyskytuje vo forme plynu. Oxid uhličitý je bežnou súčasťou zemskej atmosféry, pričom jeho koncentrácia (merania CO₂) v ovzduší kolíše v závislosti na miestnych podmienkach, na nadmorskej výške a relatívnej vlhkosti vzduchu v ovzduší. V dôsledku hlavne emisií priemyslu jeho priemerná koncentrácia vo vzduchu stále rastie. Vo svojej podstate nepredstavuje CO₂ škodlivinu, pretože nie je jedovatý. Koncom roku 1997 na Konferencii o ovzduší konanej v Japonsku (Kjóto), dospeli rokujúce krajiny k prijatiu obmedzení pre produkciu CO₂. Tieto obmedzenia sú známe pod názvom Kjótsky protokol. Nárast CO₂ v ovzduší, je považovaný za hlavnú príčinu globálneho otepľovania, je spôsobený hlavne spaľovaním fosílnych palív a úbytkom lesov. Našťastie zatiaľ najvýkonnejší ekosystém pútajúci vzdušný oxid uhličitý – morský fytoplanktón – nie je príliš narušený. Veľké množstvo oxidu uhličitého je tiež rozpusteného v svetových moriach a oceánoch, ktoré tak regulujú jeho množstvo v atmosfére. Pozvoľný nárast globálnej teploty však negatívne ovplyvňuje rozpustnosť CO₂ v morskej vode a pozitívnu spätnou väzbou sa tak dostáva späť do vzduchu ďalšie dodatočné množstvo tohoto skleníkového plynu. Našťastie väčšina oxidu uhličitého je v morskej vode viazaná chemicky vo forme uhličitanových a hydrogénuhličitanových iónov, za čo vďačíme jeho reakciou s vápenatými minerálmi podľa rov. (10) Táto rovnováha sa však so zvyšujúcou teplotou posunuje doľava.



VODA, H₂O

Voda je chemická zlúčenina vodíka a kyslíka. Je základnou podmienkou pre existenciu života na Zemi. Za normálnej teploty a tlaku je to bezfarebná, číra kvapalina bez zápachu a chuti. V prírode sa vyskytuje v troch skupenstvách: v pevnom (sneh, ľad), v kvapalnom (voda) a v plynnom (vodná para). Je najrozšírenejšou látkou na Zemi. Je podstatnou zložkou biosféry a má popri pôde prvoradý význam pre zabezpečenie výživy ľudstva. Ako emisia činnosti automobilov nie je nebezpečná.

OXIDY DUSÍKA, NO_x

Najviac sú zastúpené oxidom dusičitým. Vznikajú disociáciou dusíka pri vysokých teplotách a jeho následnou oxidáciou. Oxid dusičitý (NO₂) je žltohnedý, agresívny, jedovatý plyn. V ovzduší patrí k plynom, ktoré spôsobujú kyslé dažde a smog. Uvoľňuje sa rozkladom kyseliny dusičnej. Je jedným z piatich oxidov dusíka. Pôsobí dráždivo na sliznice dýchacích ciest a znižuje ich obranyschopnosť proti infekciám.

**AMONIAK, NH₃**

Vzniká nedostatočným spálením paliva. Amoniak však možno použiť na neutralizáciu niektorých produktov spaľovania. Odstraňuje oxid siričitý, výsledný produkt ich reakcie je síran amónny používaný ako hnojivo. Neutralizuje tiež oxidy dusíku NO_x produkovaný vznetovými motormi. Amoniak je binárna zlúčenina dusíka a vodíka so vzorcom NH₃. Pri bežnom tlaku a teplote je to toxický, žieravý, bezfarebný plyn s charakteristickým prenikavým, ostrým, silne dráždivým zápachom. Molekula amoniaku je výrazne polárna a rozpúšťa sa vo vode.

OXID UHOĽNATÝ, CO

Vzniká nedokonalým spaľovaním ak: je teplota spaľovania príliš nízka, aby mohlo dôjsť k úplnej oxidácii pohonných látok na oxid uhličitý, čas horenia v spaľovacej komore je príliš krátky alebo nie je k dispozícii dostatok kyslíka. Oxid uhoľnatý je bezfarebný plyn bez chuti a zápachu, je ľahší ako vzduch, nedráždivý. Vo vode je málo rozpustný. Má silné redukčné vlastnosti, pri vysokej teplote odčerpáva kyslík viazaný v oxidoch kovov. V prírode je prítomný v nepatrnom množstve v atmosfére, kde vzniká predovšetkým fotolýzou oxidu uhličitého pôsobením ultrafialového žiarenia, ako produkt nedokonalého spaľovania fosílnych palív či biomasy. Je tiež obsiahnutý v sopečných plynch. Oxid uhoľnatý je jed, ktorý zapríčinil pravdepodobne najviac otráv v histórii ľudstva. Jeho jedovatosť je spôsobená silnou afinitou k hemoglobínu, vytvára s ním karboxylhemoglobín, čím znemožňuje prenos kyslíka v podobe oxyhemoglobínu z pľúc do tkanív. Väzba oxidu uhoľnatého na hemoglobín je približne tristo krát silnejšia ako s kyslíkom a preto jeho odstránenie z krvi trvá mnoho hodín až dní. Príznaky otravy sa objavujú už pri premene 10 % hemoglobínu na karboxyhemoglobín. Otrava oxidom uhoľnatým sa prejavuje najčastejšie bolesťami hlavy, závratmi, hučaním v ušiach, sčervenáním v tvári, bolesťami končatín, búšením srdca.

Vzhľadom na jedovatosť je jednou z významných ekologických škodlivín. Oxid uhoľnatý má nekontrolovateľný radiačný dopad na atmosféru aj kvôli zvyšovaniu koncentrácie metánu a zväčšovaniu ozónovej diery kvôli zreagovaniu chemických prvkov s ostatnými prírodnými prvkami v atmosfére. Oxid uhoľnatý sa vytvára počas nedokonalého spaľovania paliva. Oxid uhoľnatý sa samovoľne oxiduje na stabilnejšiu formu oxidu uhličitého. Oxid uhoľnatý sa v atmosfére nachádza iba krátku dobu.

NESPÁLENÉ UHL'OVODÍKY, CH_x

Sú produktom nedokonalého spaľovania paliva alebo oleja so vzduchom v spaľovacom motore. Vznikajú spomaľovaním chemických reakcií na chladených stenách resp. vynechávaním spaľovania. Množstvo nespálených uhl'ovodíkov narastá so zmenšujúcim sa prebytkom vzduchu pri horení. Ďalším zdrojom je odparovanie paliva z vozidla a únik pri tankovaní vozidla. Do ovzdušia sa dostávajú vo veľmi malých množstvách. V množstvách v akých sa dostávajú do ovzdušia nemôžu nepriaznivo pôsobiť na ľudský organizmus. Okrem ďalších zložiek obsahujú predovšetkým karcinogénne aromatické uhl'ovodíky, jedovaté aldehydy a nejedovaté alkány a alkény.

OXID SIRIČITÝ, SO₂

Vzniká spaľovaním prímiesí síry v palive. Oxid siričitý je bezfarebný reaktívny plyn ktorý môže byť aj jedovatý. Pri nízkych koncentráciách nemá pach, ale pri veľmi vysokých koncentráciách má ostrý štiplavý zápach. Vzniká pri spaľovaní fosílnych palív alebo pri spracovávaní rúd obsahujúcich síru. Hlavnými zdrojmi produkujúcimi SO₂ sú však elektrárne spaľujúce fosílnu palivá a priemyselné ohrievacie kotle. Pôsobí dráždivo na sliznice



dýchacích ciest a na očné spojivky. V koncentráciách, v akých je produkovaný spaľovacím motorom, nemá škodlivý vplyv na centrálny nervový systém. V prírode znemožňuje fotosyntézu rastlín. Má bieliace účinky. Používa sa na dezinfekciu vinárskych sudov, pivníc a obilia, pretože ničí mikroorganizmy. Potrebný je aj pri výrobe papiera a vo farbiarstve. Síce pri spaľovaní síry uniká oxid siričitý smerom hore, ale po ochladení, t.j. pri teplote 20 °C má hustotu väčšiu ako vzduch a klesá.

OZÓN, O₃ (PRÍZEMNÝ OZÓN)

Vzniká pri reakciách NO_x a CH_x. Ozón je plyn, ktorého molekula sa skladá z troch atómov kyslíka. Okrem zvyčajných dvojatómových molekúl O₂ sa kyslík vyskytuje aj vo forme trojatómovej molekuly ako ozón O₃. Za normálnych podmienok je to vysoko reaktívny plyn modrej farby a charakteristického zápachu s mimoriadne silnými oxidačnými účinkami. Opakom životu prospešného ozónu v stratosfére je prízemný ozón, vyskytujúci sa tesne nad zemským povrchom. Tento plyn je ľudskému zdraviu nebezpečný, spôsobuje dráždenie a choroby dýchacích ciest, zvyšuje riziko astmatických záchvatov, podráždenie očí a bolesti hlavy. Až 95 % ozónu vdýchnutého do pľúc, zostáva v organizme. Spôsobuje oslabenie organizmu a zvyšuje náchylnosť na infekcie dýchacích ciest. Zvýšený vznik prízemného ozónu pozorujeme najmä počas horúcich letných dní v lokalitách s vysokou koncentráciou výfukových plynov spaľovacích motorov, kde dochádza k nárastu obsahu oxidov dusíka a plynných uhľovodíkov vo vzduchu. Tento jav sa spoločným názvom označuje ako suchý smog, podľa miesta svojho častého a prvýkrát pozorovaného výskytu v roku 1940 tiež ako losangeleský smog. V posledných rokoch sú všetky novo vyrábané osobné automobily vybavené katalyzátormi, ktoré premieňajú oxidy dusíka na inertný plynný dusík a toxický oxid uhoľnatý na relatívne neškodný CO₂. Zavedením týchto opatrení sa podarilo znížiť koncentráciu prízemného ozónu vo veľkých priemyselných centrách o niekoľko desiatok percent.

PEVNÉ ČASTICE

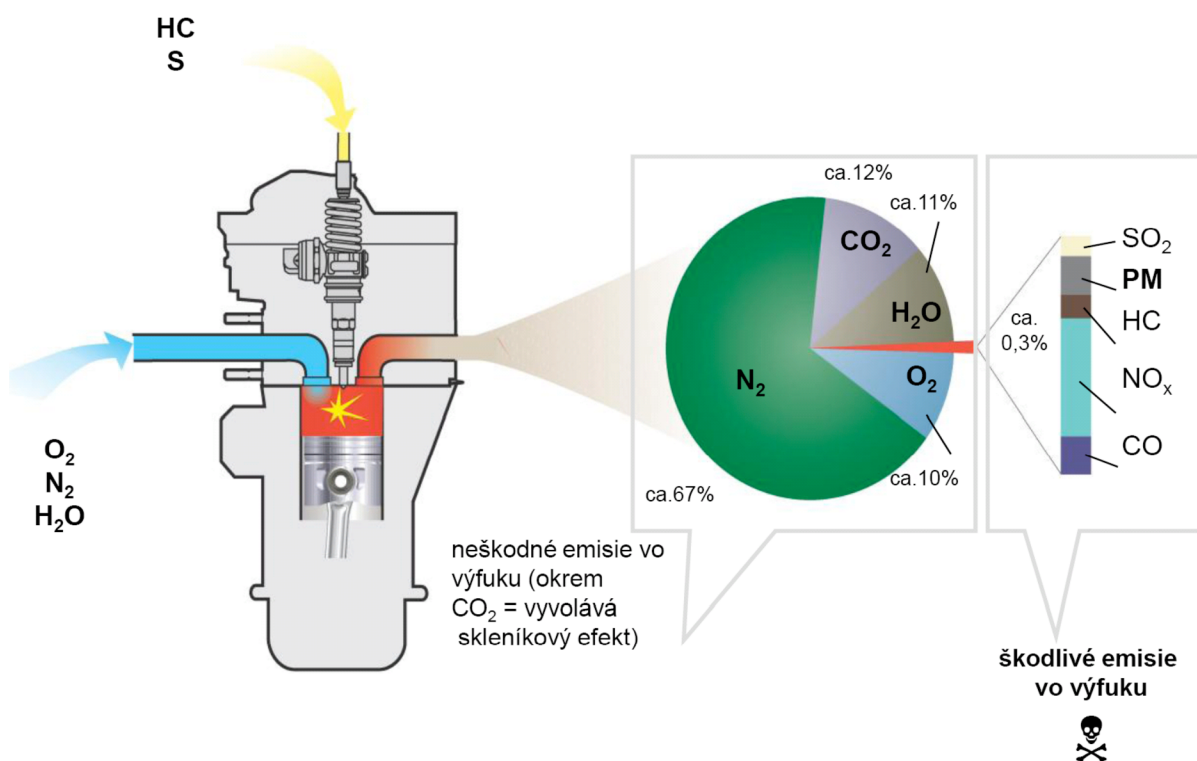
Ide o rozpustné alebo nerozpustné sadze, najmä pri motoroch spaľujúcich ťažko odpariteľné palivá a vznetrové motory. Ide o častice rôznych látok, ktoré sú tak ľahké, že trvá veľmi dlhú dobu, než sa usadia. Kvôli tejto vlastnosti sa vžil pojem „polietavý prach“, v skratke sa však označujú PM z anglického „particulate matter“ pričom sa rozlišujú kategórie PM₁₀, PM_{2,5} a PM_{1,0} podľa veľkosti častíc. PM₁₀ sú častice do 10 mikrometrov. Čím menšia častica, tým dlhšie ostáva v ovzduší. PM₁₀ „poletujú“ v ovzduší niekoľko hodín, PM_{1,0} aj niekoľko týždňov pokiaľ nie sú spláchnuté dažďom. Polietavý prach tvoria väčšinou sírany, amonné soli, niektoré kovy, dusičnany prípadne aj organické látky alebo poyaromatické uhľovodíky. Nebezpečnosť pre človeka závisí na zdroji a zložení prachu, dýchanie sadzí z dieselových motorov automobilov v meste je kvôli vysokému obsahu karcinogénnych látok omnoho nebezpečnejšia, ako vdýchnutie prírodného prachu. Častice väčšie ako PM₁₀ sa väčšinou zachytia na nosnej sliznici. PM₁₀ sa však dostanú až do priedušiek. Menšie častice PM_{2,5} a PM_{1,0} môžu putovať až do pľúc preto sú najnebezpečnejšie. V Českej Republike sa zatiaľ koncentrácia PM_{2,5} a 1,0 oddeľuje ani nemeria nevyhodnocuje hoci to odporúčajú svetové zdravotnícke organizácie.

Nadmerné vdychovanie polietavého prachu spôsobuje:

- Pľúcne choroby, astma, rakovina pľúc a iné choroby dýchacích ciest.
- Poškodenie nenarodených detí, už v prvom mesiaci tehotenstva
- Vo vyššom veku zvyšuje počet ochorení cukrovkou, vysokým krvným tlakom a rôznymi srdcovými ochoreniami

Pre polietavý prach PM10 platí 24 hodinový limit 50 mikrogramov na m³ a tento limit môže byť 35krát ročne prekročený. Ďalší platný limit stanovuje najvyššiu priemernú koncentráciu za celý rok na 40 mikrogramov. Bez ohľadu na to je emisný limit pre polietavý prach prekročený na tretine územia ČR. Na tejto tretine však žijú dve tretiny obyvateľov. V Českej republike a Poľsku je situácia najhoršia z celej Európskej únie. V porovnaní čistoty ovzdušia v 30 európskych veľkomestách vyšlo najhoršie mesto Praha

Dve tretiny prachových častí z áut vyprodukuje dieselové motory. Dieselový motor dokáže ušetriť oproti benzínovému až 25 % paliva, čo má kladný vplyv na emisie CO₂, dokáže však vyprodukovať až 100násobne väčšie množstvo Prachových častíc oproti benzínovému motoru s katalyzátorom. Technickým riešením je filter pevných častíc (Diesel Particulate Filter skrátene DPF) v ktorých dochádza k spaleniu cez 80 % väčších či menších častíc, niektoré filtre vedú odstrániť z výfukových plynov až 95 % častíc.



Obr. 9 Výfukové plyny spaľovacieho motora [17].



Miera škodlivosti jednotlivých zložiek vo výfukových plynoch sa niekedy uvádza porovnaním so škodlivosťou oxidu uhoľnatého CO. Objektívne vyjadrenie jednotlivých úrovní škodlivosti je určiť ťažké. Za najzávažnejšie škodliviny výfukových plynov sú považované pevné (tuhé) častice. Medzi regulované emisie patria:

- pevné častice, PM
- oxidy dusíka, NO_x
- uhľovodíky HC
- oxid uhoľnatý, CO

HLUK

Hluk z automobilovej dopravy sa skladá zo 4 zložiek: hluk motoru, odvaľovanie kolies po vozovke, aerodynamický hluk a prúdenie vzduchu okolo vozidla. Hluk z motoru prevažuje pri nižších rýchlostiach vozidiel, do 30 km/h, u osobných automobilov, do 50 km/h u nákladných. Pri vyšších rýchlostiach dominuje hluk pneumatík, pričom aerodynamický hluk rastie súčasne s rýchlosťou. Pre emisie celkového hluku z vozidiel hluku platí v EU limit 74 dB pre osobný automobil, 80 dB pre nákladný. Hluk z pneumatík postupom času rastie spolu s častejším používaním širších typov pneumatík. Lekárske aj štatistické štúdie dokazujú, že hluk má nepriaznivý vplyv na ľudské zdravie. Dochádza napríklad k zvýšeniu krvného tlaku, zrýchleniu tepu, stiahnutiu periférnych ciev, zvýšeniu hladiny adrenalínu a strate horčíku. Hluk má pomerne významný vplyv aj na psychiku jednotlivca a často spôsobuje únavu, depresiu, mrzutosť, agresivitu, neochotu, zhoršenie pamäti, stratu pozornosti a celkové zníženie výkonnosti. Keďže sluch funguje, aj keď človek spí, hluk počas spánku znižuje jeho kvalitu aj hĺbku. Dlhodobu sa to to prejavuje trvalou únavou.

2.2 POROVNANIA POHONOV

Pre porovnávanie výkonu, emisií, spotreby a ďalších ukazovateľov prevádzky automobilov som zvolil čo najnovšie a najpredávanejšie modely s každej kategórie s dôrazom na úspornosť. Parametre ich pohonného ústrojenstva sú prevzaté zo stránok výrobcu či testov magazínov, kde bolo často treba premeniť britské na metrické jednotky:

- 1 ft.lb = 1,3558 Nm
- 1 hp = 0,7457 kW
- 1 l / 100km = 235,22 MPG

Konkrétne údaje sa nachádzajú v *Príloha P1: Tab. 11* (Príloha P1). Pre porovnanie spotreby elektrického benzínového pohonu sa používa MPG-e (z anglického Mile Per Gallon) ekvivalentná hodnota spotreby na základe energetickej hodnoty jedného galónu benzínu 33,7 kWh, následne prepočítaná na 1 l \approx 8,9 kWh. Podobne sú upravené hodnoty spotrebe vodíkového plynu z km/kg pomocou energetickej hodnoty oboch látok, 1 l benzínu \approx 0,1691 kg H₂. Výpočet nákladov na prejde 1km je však počítaný zo spotreby elektrickej energie alebo vodíka, keďže každé cena paliva presne nezodpovedá jeho energetickej hodnote. Ekonomika prevádzky odvíja od ceny 5 \$/kg tekutého vodíku v Kalifornii kde sa nachádzajú čerpacie stanice pre tento automobil, priemerných cien benzínu a nafty v Európe, a ceny za kWh elektriny v Českej republike. Údaje o sériovom a sériovo paralelnom hybridnom pohone sú rozdelené na čisto elektrický aj hybridný mód. K emisiám vozidla pri prevádzke som podľa



spotreby pripočítal aj emisie vzniknuté pri vytváraní pohonnej hmoty resp. elektrickej energie, znásobil ich množstvo počas životného cyklu 300 000 km a tiež emisie likvidácie a výroby vozidla podľa kapitoly výroba / likvidácia aby som dostal približné hodnoty produkcie emisií automobilov počas celého životného cyklu.

2.3 ÚDRŽBA

Niektoré komponenty automobilov vyžadujú počas životnosti vozidla výmenu. Životnosť automobilu sa štatisticky pohybuje od 250 do 350 tisíc kilometrov. V tomto rozbere pôjde najmä o výmenu pneumatík a prevádzkových tekutín. Výmena dielov, ako sú vzduchové filtre, zapalovacie sviečky, brzdové doštičky a gumičky stieračov nebola zahrnutá kvôli malej hmotnosti týchto častí. Pneumatiky, ktoré sú zložené z približne dvoch tretín gumy a jednej tretiny ocele (hmotnosť) sa musia vymieňať podľa opotrebenia alebo zostarnutia. Ich životnosť sa líši v závislosti na špecifikácii pneumatík. V tejto analýze predpokladáme, že pneumatiky treba vymeniť každých 50 000 km, takže ide asi o 6 výmen za celú dobu životnosti vozidla. Asi 80 % vyradených pneumatík nájde recyklovaním uplatnenie napr. v stavebnom priemysle, ako gumový prach, alebo palivá.

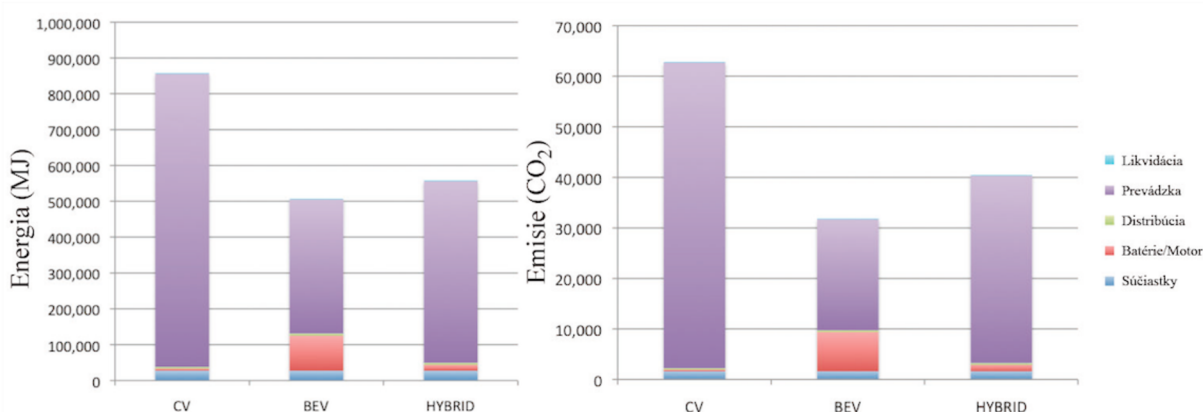
Kvapaliny vo vozidle sú menené v rámci bežnej údržby (napr. výmena oleja a iné intervaly údržby). Predpokladá sa, že motorový olej je nahradený v priemere každých 12000 km, vyžadujúc 25 životných výmen. Väčšina výrobcov vozidiel tvrdia že olej treba meniť menej, zatiaľ čo servisné strediská odporúčajú naopak kratšie intervaly. Okrem toho sa predpokladá, že tekutina ostrekovačov, čo je 50 % zmes metanou a vody, je celkom spotrebovaná každých 8 000 km, vyžadujúce takmer 40 náplní počas životnosti. Táto tekutina je často naplnená pri zmene oleja, kedy je čiastkovo dopĺňaná. Kvapalina posilňovača riadenia, čo je olej na minerálnej báze nie je nahrádzaná. Navyše, tvorcovia väčšiny nových ICEV a všetkých HEV a FCV prechádzajú elektrickému posilňovaniu riadenia, bez použitia kvapaliny, pretože to vyžaduje menej dielov a žiadnu údržbu a váži menej. Množstvo brzdovej kvapaliny použitej nijako výrazne meniť nejde medzi jednotlivými typmi vozidiel. Predpokladá sa, že chladiace kvapaliny hnacieho ústrojenstva (50 % zmes etylénglykolu a vody) sa nahrádzajú každých 40 000 km, vyžadujú teda asi 8 výmen počas životnosti, priebežne sa však vymieňa každoročne pri zmene koncentrácie nemrznúcej zmesi na zimné obdobie alebo popri výmene motorového oleja. Výmenné intervaly brzdovej kvapaliny výrobcovia bližšie nešpecifikujú. Prevodovkový olej v dnešnej dobe už udávajú výrobcovia na celý životný cyklus automobilu. Absencia prevodovky a zložitého chladiaceho okruhu a tým pádom aj šetrenie za tieto tekutiny je výhoda EV a FCV. Každý automobil tiež spotrebuje pri výrobe asi 12 kg lepidiel, ktoré sa nevymieňajú. Hmotnosti kvapalín boli stanovené za použitia demontážnych správ a prepočtu z objemu na váhu pomocou hustoty. Výsledky sú uvedené v Tab. 2.

[kg]	motorový olej	brzdová kvapalina	prevodovkový olej	chladiaca kvapalina	voda do ostrekovačov	lepidlá
ICEV	4	1	11	10	3	14
HEV	4	1	1-11	10	3	14
FCV	0	1	1	7	3	14
EV	0	1	1	7	3	14

Tab. 2 Hmotnosť pracovných kvapalín automobilov s rôznym pohonom.

3 VÝROBA / LIKVIDÁCIA

Elektrické a najmä hybridné automobily čelia často ostrej a kontroverznej kritike. Ich šetrnosť voči životnému prostrediu a peňaženke spotrebiteľov je počas ich prevádzky očividná, zložitost' konštrukcie, materiály obsiahnuté v batériách a náročná produkcia aj likvidácia vyvolali dohady a tvrdenia o tom, že počas celého životného cyklu môže byť malé hybridné auto škodlivejšie pre životné prostredie ako ťažký a luxusný terénny automobil s konvenčným pohonom. Tieto prehlásenia sú zväčša neodborné a „pritiahnuté za vlasy“, zvýšili však záujem a váhu o hlbší výskum tejto problematiky. Aj automobilka Toyota priznala, že na výroba populárneho hybridu Prius vyžaduje väčšie množstvo energie a produkuje viac emisií ako výroba ich benzínových /naftových modelov. Hlavnými dôvodmi je zložitost' pohonného ústrojenstva, elektrický motor navyše a ťažké batérie. Ešte väčším problémom hybridných a elektrických vozidiel je výroba elektrickej energie, ktorá nemusí byť vždy čistejšia ako ropné palivá. Rozborom výroby palív, a emisiami vyprodukovanými počas tohto procesu sa zaoberá kapitola 3.2.



Graf 1 Porovnanie energetickej náročnosti a produkcie emisií CO₂ počas životného cyklu automobilov [62].

Podľa Graf 1 je zrejmé, že výroba súčiastok automobilu a batérii je energeticky najnáročnejšia fáza, hneď po prevádzke. Distribúcia a likvidácia tvorí len malé percento energetickej spotreby. Energetická náročnosť likvidácie a recyklácie je z výnimkou batérii veľmi podobná medzi všetkými druhmi pohonov a v kategórii vozidiel nižšej strednej triedy bola stanovená na 1297 MJ energie a 54 kg CO₂ na 1 kus automobilu. Rozdiel teda nastáva hlavne v likvidácii konkrétnych batérii. Podľa niektorých výskumov [54], [55], ide o hodnoty 31 MJ a 1,51 kg CO₂ na 1 kilogram váhy batérie. Podobná štatistika ako pre energetickú náročnosť platí aj pre produkciu CO₂ počas celoživotného cyklu. Vyprodukované emisie počas prevádzky automobilu voči celému jeho životnému cyklu automobilu tvoria zhruba 96 % (konvenčné), 91 % (hybridné), 69 % (elektrické). Podrobný rozbor emisií pri výrobe automobilov obsahuje Tab. 3, pre elektrické automobily sa hodnoty nepodarilo nájsť.

kg/vozidlo	CO ₂	CO	NO _x	NMHC	SO ₂	CH ₄	PM
ICEV	8150	40,5	13,7	33,5	24,0	13,8	14,3
HEV	8200	36,5	13,2	33,0	37,5	13,5	13,9
FCV	10200	35,0	16,0	33,0	47,5	16,9	15,8
EV	-						

Tab. 3 Emisie výroby automobilov s rôznymi pohonmi.



3.1 ROZBOR MATERIÁLOV AUTOMOBILOV

Aby bolo možné získať konkrétnejšie predstavy o výrobe a likvidácii automobilov je potrebné poznať materiálovú skladbu typického osobného automobilu pre jednotlivé koncepty pohonov (Tab. 4) a rovnako jednotlivých typov batérii (Tab. 5) získaných z podrobných likvidačných rozborov [60], [61]. Hodnoty celkovej priemernej váhy automobilov aj batérii sa mi zdali neaktuálne a nepresné preto som do priemeru pridal niekoľko ďalších vozidiel. Teoretický opis jednotlivých materiálov je vzhľadom na ich početnosť nutný najmä pre tie najpoužívanejšie alebo najškodlivejšie. Rozbor materiálov je vzťahnutý na celý automobil, nielen pohonné ústrojenstvo, keďže výrobcovia venujú zvýšenú snahu odľahčiť automobily s ťažkými batériami hľadaním nových materiálov pre zvyšok konštrukcie.

vozidlo celková váha [kg]	ICEV		HEV		EV		FCV		energická náročnosť	recyklácia	
	1610		1275		1621		1370			kJ/kg	možnosť a program
materiál	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg			
ocel'	61,7	99 4	65, 2	83 1	67, 8	109 9	56, 4	77 3	48	√	√
železná liatina	11,1	17 9	6,0	76	2,9	47	1,8	25	40	√	√
hliník	2,2	35	1,8	23	0,9	15	5,9	81	110	√	√
hliníková liatina	4,7	76	5,1	65	6,0	97	3,2	44	133	√	√
meď / mosadz	1,9	31	4,3	55	4,5	73	4,8	66	70	√	√
magnézium	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	176	√	X
sklo	2,9	47	2,9	37	3,4	55	2,6	36	16	X	X
priemerné plasty	11,2	18 0	10, 6	13 5	9,5	154	10, 2	14 0	42	√	√
guma	2,4	39	1,9	24	2,3	37	1,8	25	36	√	√
uhlíkové vlákna	0,0	0	0,0	0	0,0	0	10, 0	13 7	169	√	X
nikel	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,4	68	√	√
nafion	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	5,5	13	√	√
uhlíkový papier	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	5,5	592	√	X
teflón	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,4	86	√	√
uhlík a nafion sus.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,7	13	-	-
platina	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	74	√	√
ostatné	1,9	31	2,2	28	2,7	44	2,2	30	-	-	-

Tab. 4 Rozbor materiálov súčasti automobilov s rôznymi pohonmi.



3.1.1 Kovy

Výroba kovov je energeticky veľmi náročná pretože ruda musí byť vyťažená, vyseparovaná od suti, skoncentrovaná a prejsť tepelným a chemickým spracovaním aby sme mohli obdržať kovový polotovár. Recyklovanie je vo všeobecnosti menej znečisťujúce a energeticky náročné pretože základný materiál treba iba pretaviť. Každopádne, v oboch prípadoch, kovový polotovár treba opracovať do konečného produktu. Väčšina kovových rúd sa po explozívnej ťažbe triedi od suti na potrebné percento koncentrácie. Nasledujú ďalšie mechanické úrovne čistenia a zvyšovania koncentrácie požadovanej rudy až pokým nie je nutné odstrániť nežiaduce prvky chemicky.

Výroba oceli je metalurgický postup odstraňovaním prebytočného uhlíku zo surového železa redukciou pomocou koksu vo vysokej peci a ďalších nežiaducich prvkov ako je fosfor a síra a dodaním žiaducich prvkov zlepšujúcich vlastnosti ocele podľa potreby a aplikácie, napr. mangánu, hliníku, kremíku a ďalších.

Železná liatina používaná na súčiastky ako blok motora, môže byť vyrobená priamo u výrobcov automobilov v ich vlastných zlievarňach miešaním železného šrotu a ocele ako surových materiálov. Aj napriek zmenšovaniu veľkosti šrotu je jeho roztavovanie energeticky náročnejšie ako rozdrobeného železa z ťažby.

Napriek tomu že hliník patrí medzi najviac zastúpené prvky v zemskej kôre, ešte donedávna patrila jeho výroba k veľmi ťažkým procesom. Je to predovšetkým z dôvodu, že elementárny hliník nejde jednoducho metalurgicky vyredukovať z jeho rudy ako napr. železo koksom vo vysokej peci. To umožnila priemyselná elektrolýza pri ktorej sa z taveniny zmesi vopred prečisteného bauxitu a kryolitu pri teplote asi 970 °C vylučuje elementárny hliník, na grafitovej anóde vzniká kyslík, ktorý hneď reaguje s materiálom elektródy a vzniká toxický plyný oxid uhoľnatý, CO.

Výroba hliníka sa okrem vysokej energetickej náročnosti vyznačuje aj rozmanitosťou používaných surovín, s čím súvisí aj značný počet tuhých odpadov. Z hľadiska ochrany životného prostredia a ekonomického záujmu sa pozornosť zameriava na nasledovné odpady: biely kal, červený kal, hnedý kal, hliníkové stery, hliníkové zliatiny, kryolit uhlíkové trosky, odpadové katódové bloky, rozprášený oxid hlinitý, garnisáže a zvyšky elektrolytu, výmurovky priemyselných pecí. Hnedý kal sa uskladňuje na kalovom poli. V súčasnosti sa v Žiari nad Hronom kde prebiehala výroba hliníku nachádza asi 8 000 000 t tohto odpadu, pričom v minulosti bol ročný prírastok 270 000 ton ročne. Plocha kalového poľa je asi 40 hektárov, pričom sa pôda znehodnocuje priesakom alkalických vôd do okolia.

Pre výrobu medi sú hlavným zdrojom sulfidické rudy, ktoré sú pomerne bohaté na železo, ale obsah medi sa v nich pohybuje iba okolo 1 %. Vyťažená ruda sa preto najprv drví a koncentruje, čím obsah medi stúpa na 15–20 %. Výroba medi zo sulfidických rúd sa vykonáva v troch základných krokoch za vysokej teploty kedy sa odstraňujú sulfidy a oxidy. Tretí krok sa však postupom času obmedzil. Na konci tohto procesu sa získava kovová meď. Surová meď, čierna meď sa čistí elektrolyticky. Anódou je surová meď, ako elektrolyt sa využíva kyselý roztok síranu meďnatého a katódu tvorí čistá meď. Nečistoty, ktoré sa hromadia v okolí anódy ako kal sú cenným zdrojom striebra, zlata a ďalších ťažkých kovov.

Zinok sa podobne ako meď získava zo sulfidických rúd. 91 kJ/kg. Množstvo zinku v automobiloch sa postupne znižovalo od 70. rokov. Väčšina zinku je v nich použitá na galvanické pokovovanie oceľových súčiastok a je extrémne náročný na recykláciu.



Magnéziové zlúčeniny možno nájsť v pevných náleziskách ale aj vo vodnom roztoku, nikdy však v čistej forme. Morská voda je hlavným a takmer neobmedzeným zdrojom magnézia a rovnomernou koncentráciou umožňujúcou štandardnú ťažbu. Magnézium sa získava elektrolýzou, ktorá je v tomto prípade extrémne náročná konzumujúca až 176 kJ/kg, oveľa viac ako produkcia hliníka. Hoci magnézium môže byť recyklované, robí sa tak iba zriedka. Množstvo magnézia v automobiloch postupne rastie vďaka jeho nízkej hustote je o 36 % ľahší ako hliník a o 78 % ľahší ako železo. Magnéziové zliatiny majú jeden z najvyšších pomerov pevnosť/váha medzi kovmi.

3.1.2 SKLO

Sklo je vyrábané zberom surových materiálov, ich prípravou a stavovaním pri teplote 1300–1600 °C a nakoniec formovanie do hotových produktov. Sklo je vyrábané z kremenného piesku, vápenca, uhličitanu sodného, živcu, sodíka, kalcia, bária a malých množstiev ďalších prídavkov. V automobilovom priemysle nájdú uplatnenie ako okná, zrkadlá, časti palubnej dosky ale vo forme vlákien spevňujúcich plast teda sklolaminát používaný aj ako panely karosérie.

3.1.3 PLASTY

Plasty sú vyrábané z derivátov ropy prostredníctvom série chemických reakcií, ktoré produkujú stavebný blok alebo monomér, ktorý sa potom reaguje so sebou alebo inými monoméry, často pri zvýšených teplotách, tlakoch a za vzniku polyméru alebo plastu. Vo vozidle rôzne použitia vyžadujú rôzne druhy plastov. Demontážne správy vozidiel menujú takmer 30 rôznych termoplastov a termosetov. Termoplasty tvoria 70 % z plastov vyrobených a sú charakterizované vysokou molekulovou hmotnosťou vyplývajúcou z vysokého stupňa polymerizácie. Dlhý molekulárny reťazec termoplastov má postranné reťazce, ktoré nie sú pripojené k iným molekulám polyméru, a preto môže opakovaně zmäknúť pri nahriatí, ktoré umožňuje recykláciu. Existuje však miera chemických premien priebehu procesu recyklácie, po ktorej už recyklovaný polymér nemusí byť rovnaké vlastnosti ako doteraz prvotný polymér. Termosety sa líšia od termoplastov tým, že chemické väzby medzi molekulárnymi reťazcami, tvoria vzájomne prepojené siete. Termosety majú väčšiu mechanickú pevnosť a stabilitu, ale nemôžu byť zmäkčené a recyklované. Veľmi málo z recyklovaného plastu v pochádza z vozidiel, pretože rôznorodosť plastov a použitie množstva malých dielov robí recykláciu neekonomickú. Tab. 4 menuje niektoré z najpoužívanejších: Polypropylén, Polyester, Polyetylén, kompozitné materiály vlákien spojených plastovým spojivom, Sklolaminát a Karbón.

3.1.4 GUMA

Guma pre automobilové aplikácie sa vyrába polymerizáciou nenasýtených uhlíkových najčastejšie butadién 75 % a styrénové 25 % kaučuky. Kaučuk je polymérny materiál v tomto prípade syntetického pôvodu. Guma vzniká z kaučukov vulkanizáciou čo je teplom alebo katalyzátormi podporovaná reakcia činidla (síra alebo jej zlúčeniny), ktorá vedie k vzniku disulfidických mostíkov medzi makromolekulami kaučuku a tvorbe riedkej trojrozmernej polymérovej siete. Čím dlhšie polymerizácia prebieha, tým viac mostíkov vzniká a tým je výsledná pryž tvrdšia. Vulkanizáciou sa zásadne vylepšujú vlastnosti kaučuku (pevnosť v ťahu, vratnosť deformácie, štruktúrna pevnosť, odolnosť k oderu, rozpustnosť...)



3.1.5 MATERIÁLY BATÉRIÍ

Olovo sa získava z niekoľkých minerálov no hlavná ruda je sulfid olovnatý. Ďalej sa olovo často vyskytuje ako sprievodný prvok v rudách zinku a striebra. Pri získavaní olova z rudy sa hornina ako obvykle jemne pomelie a vyplavovaním je oddelená zložka s vysokým zastúpením kovu s koncentráciou 50–60 %. Nasleduje praženie rudy, ktoré prevedie prítomné sulfidy olova na oxidy a koncentrácia sa zvyšuje na zhruba 97 %. Kovové olovo sa potom z praženého koncentráту získava bežnou žiarovou redukciou elementárnym uhlíkom (koks). Samotné olovo je považované za toxický zdraviu škodlivý prvok a niektoré olovené zlúčeniny sú extrémne jedovaté. V roku 1990 bolo v Európe ohrozených olovom asi 70 % ekosystémov, v roku 2000 to bolo už len 8 %. Recyklácia olovených akumulátorov je však jeden z najúspešnejších recyklačných programov na svete. Vyše 80 % produkcie olova pochádza z recyklovaného materiálu. Na skládkach ročne skončí asi 4 % ročnej produkcie akumulátorov.

Pre výrobu niklu sú nevýznamnejšie rudy novokaledonského gernieritu alebo kanadského pyrrohtionu s prímiesou pentalditu, ktorý obsahuje priemerne 3 % niklu. Nikel sa získava aj ako vedľajší produkt rafinovania niektorých iných kovov (meď, vzácne kovy). Penová flotácia (vyplavovanie) je proces pri ktorom sa separuje suť pre dosiahnutie aspoň 12 % koncentrátu. Ruda sa následne praží, taví do obsahu niklu 70 % a nakoniec rafinuje až do koncentrácie 95 %. Pre získavanie veľmi čistého niklu (99,9 %) sa používa najmä elektrolytická rafinácia alebo karbonylový proces, kedy pri teplote 50 °C, obyčajného tlaku a pôsobenia oxidu uhoľnatého formuje nikel karbonyl a zanecháva nečistoty ktoré obsahoval nikel. Následne je sa rozkladá pri teplote nad 200 °C. Nikel karbonyl je však vysoko toxický a môže byť smrteľný aj pri absorpcii cez kožu alebo vdýchnutí preto tento proces vysoké bezpečnostné opatrenia.

Elektróda s hydridmi kovov tvoriaca anódu Ni-MH batérii je vyrobená zo špeciálne navrhnutých hydridov kovov, čo sú zlúčeniny kovov ako sú alkalické kovy, vanádium, nikel, titán, zirkónium, chróm, a mngán. Mnoho rôznych zlúčenín bolo vynájdeneých pre toto použitie. Procesy na ich výrobu sa líšia no pre najpoužívanejšie skupiny prvkov sa pohybujú energetické náklady vo výške nad 106 MJ/kg [54]. Konkrétnejšie hodnoty a hodnoty emisii sa nepodarilo nájsť. Väčšina priemyselného niklu sa recykluje, vzhľadom na jednoduché vyhľadanie magnetického prvku z odpadu pomocou elektromagnetov a kvôli jeho vysokej hodnote. Ťažba a spracovanie rôznych alternatívnych kovy, ktoré tvoria zápornú elektródu Ni-MH batérii však môže predstavovať ďalšie typy vplyvu na životné prostredie, v závislosti na výrobných a ťažobných metódach a environmentálnych postupov baní. Severoamerická firma INMETCO, vedúca v recyklácii kovových odpadov má vhodnú vysokoteplotnú metódu recyklovania Ni-MH batérii na získavania niklu, železa, mangánu a zinku ktoré sa môžu následne použiť ako legovacie materiály oceli.

Lítium pre zlúčeniny potrebné v batériách sa získavajú zo soli lítia, ktoré sú extrahované z vody, minerálnych prameňov, soľných bazénov a soľných ložísk [59]. Kov sa vyrába elektrolyticky zo zmesi 55 % taveného chloridu lítneho a chloridu draselného 45 % pri teplote asi 450 °C. Lítium je 33. najhojnejší element na zemi, ale nevyskytuje sa v čistej forme z dôvodu svojej vysokej reaktivity. Lítium je vďaka svojim alkalickým vlastnostiam korozívne a reaguje s vodou. Lítiová ťažba so sebou nesie vysoké nároky na životné prostredie a vyžaduje náklady na vodu a energiu v suchých odľahlých miestach zeme. Existujú ďalšie otázky životného prostredia týkajúce sa alkalických kovov. V uplynulých rokoch moli mnohé s týchto kovov najmä lítium dovezené takmer výhradne z Číny, ktorá bola schopná znížiť ich ceny natoľko, aby monopolizovať odvetvie [56]. Jedným z dôvodov, prečo



by Čína mohla predávať lítium tak lacno, je ignorancia postupov pre ochranu životného prostredia v priebehu ťažby. Aj za normálnych okolností uzavretá Čínska vláda pripustila, že ťažba vzácnych zemín bola v niektorých miestach zneužitá. Regulátor na ministerstve priemyslu a informačných technológií v Číne pre „The New York Times“ povedal: „Spôsobilo to veľké škody na životné prostredie“ [57]. Dýchanie lítiového prachu alebo alkalických zlúčenín lítia dráždi dýchacie cesty. dlhodobá expozície lítium môže spôsobiť poruchy nervového systému a tvorbu vody v pľúcach. Kov sám o sebe predstavuje nebezpečenstvo pri manipulácii, pretože pri kontakte s vodou môže spôsobiť výbuch. Hmotnosť čistého lítia v batériách je dopočítaný z chemických vzorcov a atómových hmotností jeho zlúčenín v spodnom riadku Tab. 5. Recyklácia lítia pre zníženie závislosti výroby batérii na tomto prvku by bola možná avšak ekonomicky nevýhodná, je totiž energeticky viacnásobne náročnejšia ako výroba z ťažby. Batérie obsahujú iba malý zlomok uhličitanu lítneho ako percento hmotnosti a sú lacné v porovnaní s kobaltom alebo nikelom. Vzhľadom na tieto ekonomické faktory takmer žiadne zo spotrebiteľských lítiových batérii nie sú úplne recyklované. Z rastúcim počtom uplatnenia v doprave sa však očakáva väčšia snaha o recykláciu. Toxco Inc. je jediné zariadenia recyklujúce Li-ion batérie. Proces zahŕňa zmrazovanie pomocou tekutého dusíku, aby sa premenil celý obsah batérie do tuhého skupenstva a predišlo sa nechceným reakciám. Batérie sú potom rozobrané, kovy separované a predávané na ďalšie použitie.

Pb-Ac			Ni-MH			Li-Ion				
pohon		všetky	pohon		HEV	pohon		HEV	FCV	EV
priemerná hmotnosť		13	priemerná hmotnosť		165	priemerná hmotnosť		117	22	386
materiál	%	kg	materiál	%	kg	materiál	%	kg		
olovo	60	7,8	nikel	28,2	46,7	LiMn ₂ O ₄	27,8	32,6	6,2	107
voda	14	1,8	ocel'	23,7	39,2	ocel'	1,9	2,2	0,4	7,3
plasty	6,1	0,8	plasty	22,5	37,2	plasty	4,3	5,0	1,0	16,6
kyselina sírová	7,9	1,0	železo	12	19,9	grafit/uhlík	12,2	14,3	2,7	47,1
sklolami.	2,1	0,3	kovy al. zemín	6,3	10,4	LiPF ₆	1,7	2,0	0,4	6,6
ostatné	0,8	0,1	meď	3,9	6,5	meď	14,8	17,3	3,3	57,2
			hliník	0,5	0,8	hliník	22,9	26,8	5,1	88,5
			magnézium	1	1,7	glykol	1,3	1,5	0,3	5,0
			kobalt	1,8	3,0	el. prvky	0,9	1,1	0,2	3,5
			guma	0,1	0,2	tepelná izolácia	0,3	0,4	0,1	1,2
						etylén karbonát	4,9	5,7	1,1	18,9
						dimetyl karbonát	4,9	5,7	1,1	18,9
						spojivo	2,1	2,5	0,5	8,1
						celkový obsah Li		1,3	0,3	4,4

Tab. 5 Rozbor materiálov troch najpoužívanejších typov batérii.



3.1.6 MATERIÁLY PALIVOVÉHO ČLÁNKU

Palivový článok sa skladá z troch kľúčových častí: elektródová membrána, príslušenstvo a katalyzátor. Obsahuje však aj ďalšie komponenty vďaka ktorým prúdi vodík, vzduch, teplo a voda cez palivový článok - ako napríklad systém stlačeného vodíka, prívod vzduchu, chladiaci systém a prívod vody, klasifikované ako príslušenstvo palivového článku.

Elektródová membrána sa skladá z anódy, katódy, katalyzátora, skupiny platinových kovov a polymérovej elektrolytovej membrány (PEM). Anóda má vyleptané kanály pre rovnomerné rozptýlenia vodíka na povrchu katalyzátora, pričom katóda obsahuje kanály pre distribúciu kyslíka k povrchu katalyzátora. PEM môžu byť vyrobené z polymér fluoridu kyseliny sírovej resp. Nafion®, pre jeho schopnosť umožniť transport iónov vodíka a predchádzaniu elektrónovej vodivosti. Niektorí vedci tvrdia, že proces výroby Nafionu je ešte nákladnejší ako tvrdí väčšina zdrojov. Zároveň sa vyvíjajú uhlíkovodíkové membrány pre použitie v automobilových aplikáciách, ktoré majú potenciál poskytnúť nižšie náklady, vyššiu životnosť a lepší výkon. Okrem toho, tieto membrány neobsahujú fluór, vďaka čomu budú jednoduchšie na výrobu a recykláciu.

Príslušenstvo palivových článkov sa skladá z oporných vrstiev, prúdových polí a zberačov prúdu, ktoré sú navrhnuté tak, aby maximalizovali prúd z elektródovej membrány. Podkladové vrstvy sú umiestnené vedľa anódy a katódy a sú zvyčajne vyrobené z porézneho uhlíkového papiera alebo uhlíkovej tkaniny tak, aby mohli zberať elektróny, ktoré opúšťajú anódu a vstupujú do katódy. Hodnoty energie potrebnej na výrobu uhlíkového papiera sú odhadované 3,5krát viac ako na výrobu uhlíkových vlákien, takto získaná hodnota je veľmi vysoká no verejne nie sú k dispozícii žiadne bližšie údaje, ktoré odporujú. Podkladové vrstvy sú často potiahnuté polytetrafluóretylénom (PTFE), lepšie známym ako Teflón® aby sa zabezpečilo, že väčšina pórov v uhlíkovom papieri nie sú upchaté vodou, ktorá by spomalila rýchlosť reakcie na elektróde. Na bipolárne dosky slúžiace ako zberače prúdu musia byť vyrobené z ľahkej, pevnej, plyn nepriepustnej ale vodivej látky. Používa sa najmä grafit a hliník.

Katalyzátor v palivovom článku je potrebný na to aby mohli chemické reakcie pracovať za nízkej teploty. Katóda aj anóda je teda obalená vrstvou katalyzátora najčastejšie platinového prášku. Platinové kovy sú dôležité pre reakcie prebiehajúce v palivovom článku, ale sú veľmi drahé. Vyvíjajú sa snahy o ich recykláciu prebiehajúcu s 85–95% úspešnosťou.

Niekoľko materiálov, vrátane kobaltu, mangánu, neboli charakterizované v tejto analýze z dôvodu nedostatku dát.

3.2 PALIVÁ

Energetická náročnosť získavania palív a elektrickej energie ako aj emisie vzniknuté pri tomto procese, sú pri verejnom pohľade na problém ekológie automobilov väčšinou prehliadané. S pribúdajúcim časom a ubúdaním lacných zdrojov energie bude však táto téma nadobúdať na dôležitosť aj mimo sektoru dopravy. Dôležitým parametrom ukazujúcim koľko energie je potrebné vynaložiť pri ťažbe a spracovaní na získavanie energetických zdrojov (ropa, uhlie, urán..) je účinnosť najčastejšie udávaná v percentách ale tiež energetická návratnosť ERoEI (Energy Return on Energy Invested). Ide o to aká časť energie obsiahnutej palivách sa stratí pri jej získavaní. Pri procese z efektívnosťou 70 % sme stratili 30 % energie vstupujúcej do procesu. ERoEI je číslo udávajúce v pomere energie spotrebovanej na energiu získanú [48].



$$102 \text{ l} = 100 \%$$

$$100 \text{ l} = x \%$$

$$x = \frac{100}{102} 100 = 98,04\%$$

(10)

Príklad: rafinéria má zadané číslo EROEI 50 (50:1) znamená to že na vyrobenie 100 l benzínu bola spotrebovaná energia obsiahnutá v 2 l benzínu 100 % benzínu potrebného na tento proces je teda 102 l, koľko percent výsledný produkt teda 100 l benzínu vypočítame trojčlenkou [10]. So zvyšujúcou sa energetickou náročnosťou procesu sa toto číslo znižuje. Pri pomere 1:1 sa stáva proces nepoužiteľným na získanie energie pretože energia získaná sa rovná energii spotrebovanej. Procesy s týmto aj nižším pomerom existujú, nie však z účelom spracovať energiu ale látku so špeciálnymi vlastnosťami. Pomocou premeny jednotiek a ekvivalentných energetických hodnôt pre rôzne látky [41], [42] Informácie o efektivite spracovania energie z viacerých zdrojov [24] [43], [44], [45], [46], [47], [50] a efektivity jednotlivých koncepcii pohonov v automobiloch [51] súhrnne spracováva Tab. 6. Konkrétne faktory a dôvody ovplyvňujúce veľkosť hodnôt podrobnejšie vysvetľujú kapitoly 3.2.1 - 3.2.3. Ďalším ukazovateľom sú emisie vyprodukované pri výrobe určitého množstva energetického zdroja, udávajú sa preto v jednotkách hmotnosti na jednotku energie. Emisie vytvorené pri spracovaní jednotlivých palív resp. foriem energie od ťaženia, dopravy surovín až po spotrebiteľa [52], [47] sú zhrnuté v Tab. 8. O škodlivosti jednotlivých zložiek emisii pojednáva kapitola 2.1. V prípade vodíku pojednávam len o procese reformingu, pretože samotná elektrolýza produkuje minimum emisii, je však závislá na elektrine dodávanej zo siete.

		ťažba/ spracovanie/obohacovanie	rafinéria/ elektráreň	doprava/ skvapalnenie	celková účinnosť
		%			
ropa	benzín	90	70	92	58
	diesel				
elektrina	voda	-	80	95	76
	jadro	18	33		6
	uhlie	85	40		32
vodík	elektrolýza	-	45	75	34
	reforming	95	75		53

Tab. 6 Efektivita spracovania energie pre pohon automobilov

		obsiahnutá energia	ekonomika	emisie CO2	účinnosť pohonu
		MJ/l	€/MJ	g/MJ	%
ropa	benzín	31,82	0,043	5,62	35
	diesel				50
elektrina	voda	32,04	0,050	0,00	77
	jadro			14,40	
	uhlie			3453,12	
vodík	elektrolýza	8,50	0,030	závislá na el.	50
	reforming			67,22	

Tab. 7 Energetické a ekonomické hodnoty palív a účinnosti jednotlivých koncepcii pohonu.



g/MJ	CO ₂	CO	NO _x	NMHC	SO ₂	CH ₄	PM
benzín	5,62	3,60	34,08	191,15	96,29	1,69	1,84
nafta	3,62	3,22	29,55	76,13	68,74	0,60	1,39
uhlie	3453,12	0,51	10,38	0,10	15,70	42,71	2,04
jadro	14,40	0,00	0,04	0,00	0,05	0,02	0,01
voda	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vodík reforming	67,22	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00

Tab. 8 Emisie vytvorené pri spracovaní jednotlivých foriem pohonnej energie.

3.2.1 PALIVÁ PRE SPALOVACIE MOTORY

Základom spracovania ropy je jej frakčná destilácia, pri ktorej sa oddeľujú pri atmosférickom tlaku jednotlivé skupiny uhľovodíkov podľa ich bodu varu. Produktami frakčnej destilácie sú: Najľahšie plynné uhľovodíky sú metán, etán, propán, bután. Posledné dva sú hlavnou súčasťou automobilového paliva LPG. Nasleduje petroléter, druh ľahkého benzínu, ktorý tvoria uhľovodíky s dĺžkou reťazca C5–7 (teplota varu asi 30–70 °C). Používajú sa ako rozpúšťadlá, napr. pri chemickom čistení odevov. Ďalšie frakcie sú benzín (C6–12, 40–200 °C), petrolej (C10–15, 150–300 °C), z ktorého sa vyrába letecký benzín, plynový olej (C10–20, 200–300 °C). Nasleduje motorová nafta a ľahký vykurovací olej. Zvyšok (tzv. mazut) sa podrobuje vákuovej destilácii za zníženého tlaku, čím sa oddeľujú ťažké vykurovacie oleje od asfaltu. Uhľovodíky s dlhými reťazcami (C35 a viac) môžu byť hydrokrakovaním rozštiepené, čím vzniknú mazacie oleje. Získané produkty sú ďalej rafinované, aby sa z nich odstránili nežiaduce prímеси, ako napr. parafíny. Benzín je kvapalné palivo, zmes uhľovodíkov s priamym (parafíny) aj cyklickým (cykloparafíny) reťazcom doplnených o izooktány alebo aromatické uhľovodíky k zvýšeniu jeho oktánového čísla. Ďalej benzín obsahuje malé množstvo rôznych aditív pre lepší výkon motora zníženie emisií. Frakčnou destiláciou je možné získať však iba asi 5–25 % benzínu pôvodného objemu ropy, keďže väčšie množstvo týchto látok v rope ani nie je. Kvalitu benzínu charakterizuje oktánové číslo vyjadrujúce odolnosť voči samovznecovaniu. Motorová nafta je kvapalné palivo tvorené zmesou ťažšie odpariteľných uhľovodíkov a ďalších prídavných látok. Kvalita motorovej nafty sa udáva cetánovým číslom, ktoré vyjadruje jej vznetovú charakteristiku. V našich podmienkach sa využíva ropa, vyťažená z nálezísk na území bývalého Sovietskeho zväzu, ktorá je k nám prúdi ropovodom, čo je bezpečná a jednoduchá cesta transportu ropy aj zemného plynu. Väčšina Európy aj sveta však získava ropu pomocou námornej dopravy z ložísk na Blízkom východe alebo odľahlých kútoch sveta a podmorských nálezísk. Najčastejšie udávaná hodnota ERoEI pre takúto ropu je 30, čo v praxi znamená, že na vyťaženie 30 l ropy sa spotrebuje energie obsiahnutá v 1 l ropy. Tieto náklady samozrejme nemusia byť hradené len energiou získanou z ropy, k jej pokrytiu možno použiť akýkoľvek energetický zdroj, napr. uhlie, jadrovú či vodnú energiu a pod. Ak chceme získať benzín či akýkoľvek iný konečný ropný produkt, musíme do úpravy ropy vložiť ďalšiu energiu a jej množstvo závisí predovšetkým na kvalite ropy a požadovanej kvalite a množstve výsledných produktov. Čím je ropa kvalitnejšia, tým menej energie si vyžaduje jej spracovanie. Požiadavky na výsledný produkt sa však zvýšili a stále zvyšujú so sprísňujúcimi sa limitmi emisii výfukových plynov, a náleziská už nie sú tak dostupné a hojné ako v minulosti preto na výrobu 1 l benzínu je v dnešnej dobe potreba oveľa viac energie ako na jeho výrobu pred pár desaťročiami. Energetická náročnosť výroby benzínu sa dá zistiť priamo pomocou hodnoty ERoEI. Pre benzín je udávaná viacerými zdrojmi rozmedzi 5 až 15. ERoEI pre naftu je veľmi podobná ako pri benzíne keďže sú to produkty toho istého výrobného procesu. Efektivita spracovania energie z ropy od náleziska po konečného užívateľa je znázornená v Tab. 6.



3.2.2 ELEKTRINA

Elektrická energia najčastejšie získava v generátore využitím elektromagnetickej indukcie, opačným procesom ako pri elektrickom motore pracujúcom v motorickom chode. Elektrárne sa delia podľa spôsobu pohonu generátoru a zdroju tepelnej energie:

Tepelná elektráreň – generátor je poháňaný turbínou cez ktorú prechádza vodná para. Zdrojom tepla pre ohrev vody je spaľované uhlie, plyn alebo iné fosílné palivo.

Jadrová elektráreň – generátor je poháňaný turbínou cez ktorú prechádza vodná para. Zdrojom tepla pre ohrev vody je štiepna atómová reakcia napr. jadier uránu.

Vodná elektráreň – generátor je poháňaný turbínou cez ktorú prechádza voda. Využíva sa polohovej energie vodného spádu.

Veterná elektráreň – generátor je poháňaný vrtuľou cez ktorú prechádza vietor. Je značne závislý od stavu počasia v atmosfére.

Slnečná elektráreň – elektrická energia sa získava fotovoltaiickým javom v polovodičových súčiastkach. Po dopade fotónu svetla je vnútorným fotoelektrickým javom vygenerovaný elektrón, separovaný elektrickým poľom polovodičového prechodu a pohybom k jednotlivým elektródam vytvárajú elektrický prúd. Iný typ slnečnej elektrárne využíva tepelnú energiu slnečného žiarenia nasmerovaním lúčov na ohrievané médium. Oba typy potrebujú slnečné panely resp. zrkadlá s veľkou plochou.

Elektrická energia sa v krajinách Európskej únie aj konkrétne v Českej republike vyrába predovšetkým v uholných a jadrových elektrárňach. V menšej miere z obnoviteľných zdrojov. Pomer zdrojov elektrickej energie v roku 2012 je znázornený na obrázku s najväčším zastúpením tepelných elektrární 48,38 %, nasledujúce jadrovými elektrárňami 27,01 % a obnoviteľnými zdrojmi 22,38 % pričom v predošliých rokoch 2011 a 2010 tieto hodnoty kolísali v oboch smeroch zhruba o 1–2 % [38].

ÚČINNOSŤ UHOLNÝCH TEPELNÝCH ELEKTRÁRNÍ:

Účinnosť premeny energie obsiahnutej v uhli na mechanickú prácu na hriadeli parnej turbíny z výkonom aspoň 100 kW udáva Tab. 9, s ktorej vyplýva, že k pohonu generátoru sa využije len asi 34 % energetického obsahu uhlia. V moderných alebo rekonštruovaných uholných elektrárňach by účinnosť mala byť aspoň 40 %. Získavanie nekvalitného uhlia má EROEI asi 4–10, kvalitného 10–20, uhlie vo všeobecnosti je udávané 10–20 [27], [29]. Vzhľadom k spaľovaniu menej kvalitného prachového uhlia v našich podmienkach, uvažujeme hodnotu zhruba 7 čo znamená využitie 86 % energie ukrytej v uhli.

Energetická premena	Čiastkové straty	Účinnosť	
		Čiastková	Celková
parný kotol	0,20	0,80	0,80
parná turbína	0,10	0,90	0,72
kondenzácia pary	0,48	0,52	0,37
pomocné pohony	0,05	0,95	0,35
generátor 10 kV / 50 Hz	0,03	0,97	0,34

Tab. 9 Účinnosť tepelnej elektrárne.



ÚČINNOSŤ JADROVÝCH ELEKTRÁRNÍ

Parameter EROEI je rôznymi zdrojmi udávaný pre celkovú jadrovú energetiku čo uľahčuje počítanie, tieto údaje sa však výrazne líšia. Hodnoty sa pohybujú od 2 do 12 a ďalej napríklad od 10 do 24 [28], [29], [30]. Príčina odlišností je v tom, že niektoré zdroje zahŕňajú všetky vplyvy na životné prostredie, teda aj energiu potrebnú k rekultivácii pôdy po ťažbe, likvidáciu elektrárne po skončení životného cyklu a pod. Kdežto iné zdroje počítajú iba tok energii vložených do procesu získavania energetického zdroja. Rozdiel je aj v uvažovaných typoch životnosti reaktorov. Asi najviac však ovplyvňujú efektívnosť jadrovej elektrárne spôsoby obohacovania jadrového paliva. Difúzne obohacovanie uránu je niekoľkonásobne energeticky náročnejšie než rozširujúce odstredivé (centrifúgové) obohacovanie, ktoré je však menej účinné (asi len 20 %) pri príprave paliva z prírodného uránu, tvorí však väčšinu obohacovacích procesov [40]. Aby sme mohli určiť energetickú náročnosť získavania paliva pre jadrovú elektrárňu, museli by sme podobne ako u uhlia poznať hodnotu EROEI pre jadrové palivo, tá sa však bežne neudáva. Podľa [30], 43,2 PJ energie vynaloženej na ťažbu rudy a výrobu paliva sa počas štiepanej reakcie získa 2 424,3 PJ tepelnej energie. EROEI hodnotu uránového paliva je asi 56, teda 8 krát väčšia ako uhlia. Pokiaľ budeme brať zvyšok mechanizmov jadrovej elektrárne ako typ tepelnej elektrárne a súčinnosťou 33 %, premeny tepelnej energie získanej z uránu na elektrickú, môžeme tak uvažovať EROEI jadrovej energetiky zhruba 18. Tieto údaje však často neberú do úvahy všetky faktory ako rekultiváciu po ťažbe, likvidáciu vyhoreného paliva, stavbu, údržbu a likvidáciu elektrárne/rafinérie a ďalšie ťažšie merateľné vplyvy ktoré by hodnoty EROEI ešte znížili. V prípade jadrovej elektrárne, ktorá čelí odjakživa kontroverzii si rôzne zdroje často výrazne protirečia. Spracovania elektrickej energie z jadrového paliva v cykle od náleziska po koncového užívateľa je znázornené v Tab. 6.

EFEKTIVITA VODNEJ ELEKTRÁRNE

Vo vodnej elektrárni voda roztáča turbínu, ktorá je na spoločnom hriadeľi s elektrickým generátorom. Mechanická energia púdajúcej vody sa tak merní na energiu elektrickú. Nesmiernou výhodou oproti elektrárni tepelnej uhoľnej a atómovej (ktorá je tiež typom tepelnej elektrárne) je absencia spaľovania a ohrevu média, procesu výrazne znižujúceho efektívnosť tepelných elektrární. Odpadáva tiež ťažba a preprava paliva. Ďalšou výhodou je relatívne lacná stavba vodnej elektrárne a oveľa dlhší „život“ elektrárne. Nevýhodou je závislosť na riečnych tokoch a teréne a tak pre niektoré krajiny nie je vhodnou možnosťou. K využitiu lepšiemu potenciálu vodných tokov slúži kategória tzv. malých vodných elektrární (výkon do 10 MW). Väčšina slúži ako sezónne zdroje. Prítoky malých riek sú totiž silne závislé na počasi a ročnom období. Ďalšou kategóriou sú prečerpávacie elektrárne na princípe 2 nádrží. Táto elektrárňu má za úlohu posilniť elektrickú sieť keď je odber najväčší a počas menej náročných nočných hodín využívajú k spätnému prečerpaniu vody prebytočnú energiu atómových elektrární, ktoré nedokážu flexibilne regulovať svoj výkon. Prečerpávacie vodné elektrárne pracujú s efektívnosťou 70–76 %. Vodné elektrárne dokážu využiť aj energiu prílivu a odlivu v niektorých pobrežných oblastiach kedy je turbína poháňaná postupujúcim prúdom vody. Pracujú s efektívnosťou 60–70 %. Efektívnosť spracovania elektrickej energie vo vodnej elektrárni až po koncového užívateľa je znázornená v Tab. 6.

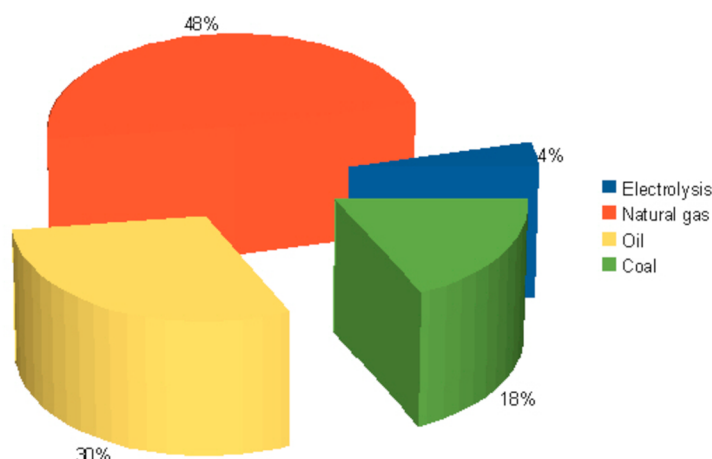
PRENOSOVÉ STRATY

Prenosové straty elektriny vznikajú vo vodičoch pri preprave elektriny distribučnou sieťou, kde sa spotrebúva časť el. energie na tepelnú pri prechode vodičom kladúcim elektrickému prúdu odpor. ale aj pri indukčnom a kapacitným javom medzi vodičmi. Celosvetovo medzi rokmi 1999–2011 tieto straty dosahujú hodnôt 2–70 % [26], čo však zahŕňa aj rozvojové

krajiny, krajiny výrazne znevýhodnené geografickou polohou a terénom náročným na údržbu distribučnej siete. Medzi krajinami Európskej únie sa tieto hodnoty v rovnakom časovom období pohybujú od 2 do 14 %. V Českej republike straty tvoria stabilne 5 % odberu elektrickej energie.

3.2.3 Vodík

Vodík je dnes vyrábaný mnohými spôsobmi, zo širokého spektra vstupných zdrojov. Celosvetovej produkcii vodíka však v súčasnej dobe dominuje výroba z fosílnych palív – parný reforming zemného plynu a parciálna oxidácia ropných frakcií. Denne sa na svete vyprodukuje približne 127 tisíc ton vodíka a jeho spotreba ročne rastie asi o 6 % [33], [34]. V tejto kapitole nasleduje porovnanie momentálne najrozšírenejšieho spôsobu výroby vodíka a k tomu alternatíva z obnoviteľných zdrojov elektrolýzou, pričom elektrolýzy je viacero typov dosahujúcich rôzne úrovne efektivity, niektoré z nich avšak existujú zatiaľ len v experimentálnom štádiu.



Graf 2 Rozloženie zdrojov, z ktorých sa v súčasnej dobe získava vodík [35].

PARNÝ REFORMING ZEMNÉHO PLYNU

Ako je zrejmé z *Graf 2*, najväčšie množstvo vodíka je v súčasnosti získavané zo zemného plynu, metódou parného reformovania. Je to dnes najrozšírenejší a najlacnejší spôsob výroby vodíka.



Reformná reakcia prebieha (rovnice 11–13) v peci pri teplotách 750–800 °C a tlaku 3–5 MPa. Za prítomnosti katalyzátora na báze oxidu nikelnatého sa do vodnej pary privádza metán. Táto zmes reaguje za vzniku vodíka, oxidu uhoľnatého a malého množstva oxidu uhličitého. Reformná reakcia sa vykonáva s prebytkom pary k metánu približne 3:1, aby nedochádzalo k usadzovaniu uhlíka na katalyzátore a aby sa rovnováha vratných endotermickou reakciou posúvala smerom na stranu produktov. Následne možno zvýšiť množstvo produkovaného vodíka konverziou oxidu uhoľnatého s ďalšou pridanou parou. Produkty reformnej reakcie



o teplote cca 750 °C sú vedené cez kotol na výrobu pary a výmenník, kde dôjde k ich ochladeniu až na cca 360 °C, do vysokoteplotných konvertorov, kde sa oxid uhoľnatý reakciou s ďalšou vodnou parou premení na oxid uhličitý a my tak na výstupe získame ďalší vodík [35].

ELEKTROLÝZA VODY

Elektrolýza vody je proces, pri ktorom jednosmerný prúd počas priechodu vodným roztokom štiepi chemickú väzbu medzi vodíkom a kyslíkom (rov. 14).



Vodíkový protón potom reaguje na katóde za vzniku plynu, ktorý sa zachytáva a následne uskladnený. Proces môže prebiehať za izbových teplôt a pre jeho chod je potrebná iba elektrická energia. Účinnosť procesu sa pohybuje v rozmedzí 80–92 %, možno ju zvýšiť prídavkom elektrolytu, ktorý zvýši vodivosť vody. Produkty elektrolýzy sú kyslík a vysoko čistý vodíkový plyn. Ten pre väčšinu aplikácií nie je nutné dodatočne dočistiť. Nevýhodou teda môže byť vysoká cena elektrickej energie. Naopak výhodou celého procesu je súčasná produkcia kyslíka, ktorý je možné tiež využiť. Priaznivým faktorom je tiež možnosť použitia rôznych zdrojov energie a už spomínaná vysoká čistota získaného vodíka. Jedným s ďalších druhov elektrolýzy je vysokoteplotná elektrolýza, niekedy tiež známa ako parná elektrolýza. Je charakteristická tým, že okrem energie elektrickej, je časť potrebnej energie dodávaná vo forme tepla. Tým je oproti klasickej elektrolýze vody zvýšená celková účinnosť. Do elektrolýzera vstupuje vodná para a vodík. Vystupuje z neho obohatená zmes, ktorá obsahuje 75 % vodíka a 25 % pary. Následne je vodík z pary oddelený v kondenzačnej jednotke. Celková účinnosť vysokoteplotnej elektrolýzy, vrátane výroby potrebnej energie, môže dosahovať až 45 %. Táto metóda je vedľa termochemických cyklov štiepenia vody sľubným kandidátom na výrobu vodíka vo veľkom meradle.

Metóda	Účinnosť [%]
Parný reforming zemného plynu	70 – 85
Elektrolýza vody	45

Tab. 10 Porovnanie účinnosti vybraných metód výroby vodíka.

DOPRAVA A SKLADOVANIE VODÍKU

Doprava a skladovanie je kritická časť spracovania vodíka ako pohonnej hmoty. Pre efektívne skladovanie kvôli nízkej hustote a lepšiemu využitiu v palivových článkoch musí byť stlačený a skvapalnený, teda ochladený na -253 °C a uchovaný pri vysokom tlaku. Tento proces si vyžaduje asi 20–30 % energie obsiahnutej vo vodíku. Ďalších 5 % sa stratí postupným únikom tlaku a ohrevom počas transport a skladovania. Účinnosť elektrolytickej výroby je ovplyvnená najmä účinnosťou výroby elektrickej energie, ktorá je pre súčasné zdroje 30–40 %. Celková účinnosť elektrolýzy sa potom pohybuje v rozmedzí 25–35 %. Parný reforming je účinnejší, využíva však neobnoviteľné zdroje zemného plynu čo nepredstavuje príliš ekologickú alternatívu spracovania energie. Chýbajúca infraštruktúra čerpacích staníc vodíku tiež znižuje atraktivnosť konceptu tohoto pohonu. Efektivita spracovania vodíku ako nositeľa energie pre pohon automobilov je znázornená v Tab. 6.



ZÁVER

Porovnanie ekologického dopadu rôznych koncepcií pohonu automobilu je široká téma a je nesmierne zložité určiť presnú mieru dopadu každého pohonu, či určiť jedného „vítaza“. Za nosné faktory som zvolil energetickú náročnosť a produkciu emisií. Ďalšie faktory ako miera úspešnej recyklácie, následky ťažby a ropné či jadrové katastrofy spojené so zaskávaním palív majú síce priamy dopad na životné prostredie, ide však o ťažko merateľné či porovnateľné javy o ktorých často nieje dostatok informácií. Energetická náročnosť a produkcia emisií sa značne líšia medzi konkrétnymi modelmi áut, továrňou či zemepisnou polohou. Tiež spôsobom a dĺžkou používania. Možnosťou ako dokonalejšie porovnať typy pohonu by bola konštrukcia automobilov s rovnakým výkonom a úžitkovou hodnotou v rovnakých pracovných podmienkach. Takto podobné autá však neexistujú. Preto sa práca obmedzuje na výber osobných áut v rovnakej kategórii. Zdroje energie slúžiacej k pohonu vozidiel majú rozdielne efektivity výroby a spracovania, od čoho sa priamo odvíja ich energetická náročnosť. Informačné zdroje na túto tému však uvádzajú rôzne hodnoty, v niektorých prípadoch ako napr. jadrovej elektrárne si priam protirečia. Možností čo všetko zahrnúť do energetických výdavkov výroby elektriny je totiž mnoho, od samotnej činnosti elektrárne, po ťažbu uránu, distribúciu či likvidáciu zariadenia po skončení jeho životného cyklu. Úsilím bolo nájsť priemerné hodnoty pre rovnaké fázy výroby všetkých pohonných energií.

Dôležitým výsledkom je, že pri všetkých zvolených typoch pohonu tvorí najväčšiu časť energetickej spotreby aj produkcie emisií prevádzka automobilu. Vo veľkej miere teda závisí ekológia dopravy na výrobe paliva a úspory automobilov. Na základne tohto poznatku možno usúdiť, že automobil s elektrickým pohonom a batériami je najekologickejší, treba však spomenúť niektoré protiargumenty. Výroba tvorí tiež významnú časť spotreby energie a produkcie emisií a pohonné ústrojenstvo elektromobilu, najmä batérii môže byť výrazne náročnejšie ako celý automobil so spaľovacím motorom aj väčšina hybridov. Výrobcovia dnes už udávajú životnosť týchto batérii na životný cyklus automobilu, v prípade, že sa tak v realite nestane a batérie je nutné vymeniť, elektromobil pravdepodobne prekročí škodlivosťou hybridné aj niektoré spaľovacie pohony. Tie isté batérie tiež limitujú rozšírenie automobilov kôli dobe nabíjania a krátkemu dojazdu. Zaujímavosťou je množstvo emisií spotrebovanej elektriny na najazdený kilometer, ktorá tvorí asi tretinu hodnoty porovnateľných spaľovacích motorov. Ubúdaním fosílnych zdrojov elektriny bude prevádzka elektromobilov ešte čistejšia a pravdepodobne aj menej energeticky náročnejšia.

Benzínové a dieselové pohony sú vo výrobe podobné natoľko, že väčšina štúdií sa nimi zaoberá ako jedným typom pohonu. Rozdiel teda nastáva najmä v prevádzke kde ukazujú dieslové motory nižšie emisie aj spotrebu paliva. Čiastočným riešením v budúcnosti pre tieto pohony môžu byť alternatívne biopalivá, produkúce menej emisií, vyrábané sčasti z obnoviteľných lokálnych zdrojov. Pri masovom rozšírení by však zaberali priveľa hospodárskej pôdy. Z hybridných vozidiel je zaujímavý najmä sériový, so schopnosťou prevádzky v elektrickom móde na krátke vzdialenosti no tiež možnosťou neustálej prevádzky za pomoci generátora a malého spaľovacieho motoru v efektívnom pracovnom režime. Vodíkový pohon sa snúbi ako spojenie výhod dvoch pohonov. Dojazd a rýchle tankovanie paliva s čistou jazdou a výhodami elektrického motoru. Odporujúce sú fakty, že väčšina vodíka je vyrobeného z neobnoviteľných zdrojov a proces jeho výroby, uskladnenia a premeny na elektrinu v palivovom článku je veľmi neefektívny. Potreba budovania infraštruktúry čerpacích staníc tento pohon tiež znevýhodňuje. V experimentálnej forme sa však vyvíjajú nové formy spracovania vodíka, ktoré tento koncept môžu značne vylepšiť.



POUŽITÉ INFORMAČNÉ ZDROJE

- [1] VLK, František. Alternativní pohony motorových vozidel. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2004, 234 s. ISBN 80-239-1602-5.
- [2] VLK, F.: Diagnostika motorových vozidiel, Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2006, 444 str., ISBN 80-239-7064-X
- [3] RIPPEL, Wally. Induction Versus DC Brushless Motors. Tesla Motors: Premium Electric Vehicles [online]. 2007 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.teslamotors.com/blog/induction-versus-dc-brushless-motors>
- [4] DOUGHTY, Dan a Peter E. ROTH. A General Discussion of Li Ion Battery Safety. The Electrochemical Society Interface [online]. 2012, roč. 21, č. 2, s. 8 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: http://www.electrochem.org/dl/interface/sum/sum12/sum12_p037_044.pdf
- [5] AMERICAN HONDA MOTOR CO., Inc. Honda FCX Clarity: Fuel Cell Electric Vehicle [online]. 2008 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://automobiles.honda.com/fcx-clarity/>
- [6] INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION. European Vehicle Market Statistics: Pocketbook 2013. Berlin, 2013. Dostupné z: http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/EU_vehiclemarket_pocketbook_2013_Web.pdf
- [7] Archive. ENGINE TECHNOLOGY INTERNATIONAL MAGAZINE. International Engine of the Year Awards [online]. Dorking, Surrey, UK.: UKIP Media & Events Ltd, 2013 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.ukipme.com/engineoftheyear/archive.php>
- [8] JAN, Zdeněk a Bronislav ŽDÁNSKÝ. Automobily. 5. vyd. Brno: Avid, 2008, 179 s. ISBN 978-80-87143-06-3.
- [9] Základní informace o CNG: Jízda na stlačený zemní plyn CNG. Šlápni na plyn: Finanční úspora + Ekologie [online]. 2011 [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: <http://lpg-cng.ochranamotoru.cz/auto-autobus-jizda-na-plyn-palivo-zemni-cng.htm>
- [10] Základní informace o LPG: Jízda na skapalnený zemní plyn LPG. Šlápni na plyn: Finanční úspora + Ekologie [online]. 2011 [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: <http://lpg-cng.ochranamotoru.cz/auta-jizda-slapni-na-plyn-ropny-lpg-propan-butan.htm>
- [11] ABOUT.COM. Hybrid Car & Alt Fuels [online]. [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: <http://alternativefuels.about.com>
- [12] AGROETANOL TTD, a. s., lihovar Dobrovice. Ekologické palivo: Etanol 85 [online]. Design studio Pilot, 2014 [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: <http://www.etanol-85.cz>
- [13] Žalud F. : Škodlivé exhalace naftových motoru. VI. konferencia o spaľovacích motoroch. Tvorba zmesi, spaľovanie a exhalácia., Dom techniky SVTS Žilina, Žilina SK, 1973.



- [14] Volák V.: Vývoj exhalačních národních a EHK předpisů silničních vozidel. (in) Legislatívne úpravy v oblasti exhalátov motorových vozidiel a ich praktické uplatňovanie pri ochrane životného prostredia, (ed) Wetter P., WETTRANS, Žilina SK, 1993.
- [15] Kohketsu S., Mori K., Kato T., Sakai K.: Technology for Low Emission, Combustion Noise and Fuel Consumption on Diesel Engine. SAE paper 940672. (in) Diesel Combustion Processes Emission Control SP-1028, SAE, Inc Warrendale, PA USA, 1994.
- [16] MORAVČÍK, L.: Prichádza emisný predpis EURO VI, In: Sprievodca svetom dopravcu, číslo 11/2013, 25. novembra 2013, str. 5 – 11, ISSN 1338-1881
- [17] LENĎÁK, P.: Doprava a životné prostredie (emisie motorových vozidiel na Slovensku), medzinárodný seminár “Prachové častice PM10 a doprava – dopady a riešenia” 2.2.2011, Bratislava
- [18] Emission standards: Cars and light trucks. Dieselnet [online]. 2002 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://www.dieselnet.com/standards/eu/ld.php>
- [19] Vladimír Bencko, Miroslav Cikrt, Jaroslav Lener: Toxické kovy v životním a pracovním prostředí člověka, Grada 1995, ISBN 80-7169-150-X
- [20] Miroslav Šuta: Účinky výfukových plynů z automobilů na lidské zdraví, Český a Slovenský dopravní klub 1996, ISBN 80-901339-4-0
- [21] DARDEN, Bill. CAR AND DEEP CYCLE BATTERY FAQ 2014 [online]. 2014 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://www.batteryfaq.org>
- [22] Bioenergy Conversion Factors. OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY. Bioenergy Feedstock Information Network [online]. 2010 [cit. 2014-05-19]. Dostupné z: https://bioenergy.ornl.gov/papers/misc/energy_conv.html
- [23] Fuel prices in Europe [online]. 2014 [cit. 2014-05-19]. Dostupné z: <http://www.fuel-prices-europe.info>
- [24] Cena-elektřiny: Aktuální cena elektřiny a srovnání cen elektřiny pro rok 2014 [online]. 2013 [cit. 2014-05-19]. Dostupné z: <http://www.cena-elektriny.eu>
- [25] CARPAGES.CO.UK. UK New Car Data: Car Buyers Guide [online]. 2014 [cit. 2014-05-19]. Dostupné z: <http://www.carpages.co.uk/guide/>
- [26] Electric power transmission and distribution losses. THE WORLD BANK GROUP. Data.worldbank.org [online]. 2014 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: http://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.LOSS.ZS?order=wbapi_data_value_2011+wbapi_data_value+wbapi_data_value-last&sort=asc
- [27] CÍLEK, V., KAŠÍK, M. Nejistý plamen, průvodce ropným světem. 2. vyd. Dokořán, Praha, 239 s. ISBN 978-80-7363-218-2.
- [28] Brůhová-Foltýnová, Hana. Ukazatele trendů v dopravě [online]. [cit. 2010-3-2]. Dostupné z: http://www.enwiki.cz/index.php?title=Ukazatele_trend%C5%AF_v_doprav%C4%9B&oldid=3491.



- [29] BULL, Jamie. EROEI of electricity generation. OCo Carbon: do not covet your ideas [online]. 2010 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://oco-carbon.com/eroei/eroei-of-electricity-generation/>
- [30] STORM VAN LEEUEN, J. W., SMITH, P. Nuclear power – the energy balance. Part G: Energy analysis – results [online]. [cit. 2010-04-09]. Dostupné z: <http://www.stormsmith.nl/>.
- [31] Rataj, J. Jaderná energetika – minulost či budoucnost? [online]. [cit. 2010-04-11]. Dostupné z: <http://www.svobodomyslni.cz/sbornik3.php>.
- [32] Výhřevnost paliv [online]. [cit. 2010-04-27]. Dostupné z: <http://energie.tzb-info.cz/t.py?t=16&i=11&h=38&obor=2>.
- [33] Doucek, A., Janík, L., Tenkrát, D., Dlouhý, P.: Využití vodíku k regulaci obnovitelných zdrojů energie [online]. [cit. 4. ledna 2010]. Chemagazin, 2010, č.3, roč. 20. Dostupné z http://www.chemagazin.cz/userdata/chemagazin_2010/file/CHXX3_cl1.pdf
- [34] Bičáková, O.: Možnosti výroby vodíku biologickými procesy [online]. [cit. 13. ledna. 2011]. Paliva 2, 2010, s. 103-112. Dostupné z: <http://paliva.vscht.cz/data/clanky>
- [35] Výroba vodíku parním reformováním. Petroleum.cz, [online], [cit. 28. února 2011]. Dostupné z <http://www.petroleum.cz/zpracovani/zpracovani-ropy-43.aspx>
- [36] Eniscuola: Hydrogen production from different sources. Eni S.p.A.: a major integrated energy company [online]. 2008 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.eniscuola.net/en/energy/contenuti/hydrogen/graphs-and-tables/>
- [37] jak se vyrábí palivo budoucnosti. Vodík pro auta i elektroniku [online]. Zveřejněno dne: 28. 1. 2008. [cit. 13. ledna. 2011]. Dostupné z http://technet.idnes.cz/jak-se-vyrabi-palivo-budoucnosti-vodik-pro-auta-i-elektroniku-p6d-tec_tecnika.asp?c=A080127_234744_tec_tecnika_vse
- [38] UNION OF THE ELECTRICITY INDUSTRY – EURELECTRIC. Power Statistics & Trends 2013. Brusel, 2013. Dostupné z: http://www.eurelectric.org/media/113667/power_statistics_and_trends_2013-2013-2710-0001-01-e.pdf
- [39] ŠKODA Octavia GreenLine. ŠKODA AUTO A.S. ŠKODA [online]. 2014 [cit. 2014-05-21]. Dostupné z: <http://www.skoda-auto.cz/models/nova-octavia-greenline#>
- [40] ISLAM, Rafiqul. Nature science and sustainable technology research progress. New York: Nova Science Publishers, c2008, 374 p. ISBN 16-045-6310-9.
- [41] ELERT, Glenn. Energy Density of Hydrogen [online]. 2005 [cit. 2014-05-22]. Dostupné z: <http://hypertextbook.com/facts/2005/MichelleFung.shtml>
- [42] Výhřevnosti paliv. NOVÁK, Jan. TZB-info [online]. 2001, 2014 [cit. 2014-05-22]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/11-vyhrevnosti-paliv>
- [43] RUTH, Mark, Melissa LAFFEN a Thomas A. TIMBARIO. NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY. Hydrogen Pathways: Cost, Well-to-Wheels



- Energy Use, and Emissions for the Current Technology Status of Seven Hydrogen Production, Delivery, and Distribution Scenarios. 2009, 300 s. Dostupné z: <http://www.nrel.gov/docs/fy10osti/46612.pdf>
- [44] LUXA, Martin a Jaroslav SYNÁČ. Efektivita přeměn energie . Vesmír 92 [online]. 2013, č. 5 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: http://www.it.cas.cz/files/u1737/Str_nky_272-275_z_Vesmír201305_def.pdf
- [45] Klasické tepelné elektrárny. Žilinská univerzita v Žiline: Katedra výkonových elektrotechnických systémů [online]. 2008 [cit. 2014-05-22]. Dostupné z: http://www.kves.uniza.sk/kvesnew/dokumenty/vyroba%20elektrickej%20energie/2_Klasicke%20tepelne.pdf
- [46] Electrical Efficiency of Electrolytic Hydrogen Production. International Journal of ELECTROCHEMICAL SCIENCE [online]. 2012, č. 7 [cit. 2014-05-22]. Dostupné z: <http://www.electrochemsci.org/papers/vol7/7043314.pdf>
- [47] Hydrogen Production & Distribution. IEA Energy Technology Essentials [online]. 2007, č. 5 [cit. 2014-05-22]. Dostupné z: <http://www.iea.org/techno/essentials5.pdf>
- [48] RAPIER, ROBERT. Understanding EROEI. In: Energy trend Insider [online]. 2008 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.energytrendsinsider.com/2008/03/05/understanding-eroei/>
- [49] STATE UNIVERSITY OF NEW YORK, College of Environmental Science and Forestry. EROI of Global Energy Resources: Preliminary Status and Trends. 2012, 41 s. Dostupné z: http://www.roboticscaucus.org/ENERGYPOLICYCMTEMTGS/Nov2012AGENDA/documents/DFID_Report1_2012_11_04-2.pdf
- [50] SUN, John. STANFORD UNIVERSITY. Car Battery Efficiencies [online]. 2010 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://large.stanford.edu/courses/2010/ph240/sun1/>
- [51] Účinnost motorů. Pohonnatechnika [online]. 2007, 2014 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.pohonnatechnika.cz/skola/motory/asynchronni-motor>
- [52] LEWIS, C.A. AEA TECHNOLOGY. Fuel and Energy Production Emission Factors. 1997, 56 s. Dostupné z: <http://www.inrets.fr/ur/lte/cost319/MEETdeliverable20.pdf>
- [53] Hu, Y., Hall, C., Wang, J., Feng, L., Poisson, A., 2013. Energy return on investment (EROI) on China's conventional fossil fuels: historical and future trends. Energy, 1–13.
- [54] Ishihara, K., K. Nishimura, and Y. Uchiyama, 1999, *Lifecycle Analysis of Electric Vehicles with Advanced Batteries in Japan*, presented at Electric Vehicle Symposium-16, Beijing, China.
- [55] Staudinger, J. and Keoleian, G., (2001) “Management of End of Life Vehicles (ELVs) in the US Center for Sustainable Systems, University of Michigan.
- [56] STRICKLAND, Eliza. Isn't It Ironic: Green Tech Relies on Dirty Mining in China. Discover: science for curious [online]. 2009, č. 12 [cit. 2014-05-28]. Dostupné z: <http://blogs.discovermagazine.com/80beats/2009/12/28/isnt-it-ironic-green-tech-relies-on-dirty-mining-in-china/#.U4XpB5H9MR4>



- [57] BRADSHER, Keith. Earth-Friendly Elements, Mined Destructively. New York Times [online]. 2009, 26.12. [cit. 2014-05-28]. Dostupné z: <http://blogs.discovermagazine.com/80beats/2009/12/28/isnt-it-ironic-green-tech-relies-on-dirty-mining-in-china/#.U4XpB5H9MR4>
- [58] KUČHTA, Jiří a Jan PROCHÁZKA. Seznam a ceny LPG v ČR [online]. 2012, 21.05.2014 [cit. 2014-05-28]. Dostupné z: <http://lpg.cernosice.cz>
- [59] Lithium Mining and Environmental Impact. LithiumMine.com [online]. 2012 [cit. 2014-05-28]. Dostupné z: <http://www.lithiummine.com/lithium-mining-and-environmental-impact>
- [60] BURNHAM, A., M. WANG a Y. WU. ENERGY SYSTEMS DIVISION, Argonne National Laboratory. The Transportation Vehicle-Cycle Model. 2006, 98 s. Dostupné z: <http://www.transportation.anl.gov/pdfs/TA/378.PDF>
- [61] BURNHAM, Andrew. CENTER FOR TRANSPORTATION RESEARCH ARGONNE NATIONAL LABORATORY. Updated Vehicle Specifications in the GREET Vehicle-Cycle Model. 2012, 40 s. Dostupné z: <https://greet.es.anl.gov/publication-update-veh-specs>
- [62] AGUIRRE, Kimberly, Brittany NELSON, Luke EISENHARDT, Christian LIM, Peter SLOWIK, Nancy TU a Alex NORRING. CALIFORNIA AIR RESOURCES BOARD. Lifecycle Analysis Comparison of a Battery Electric Vehicle and a Conventional Gasoline Vehicle. 2012, 33 s. Dostupné z: <http://www.environment.ucla.edu/media/files/BatteryElectricVehicleLCA2012-rh-ptd.pdf>
- [63] The Volt's chassis [online]. 2014 [cit. 2014-05-28]. Dostupné z: http://alternativefuels.about.com/od/conceptvehicles/ig/Chevrolet-Volt.--47/volt_chassis.htm
- [64] KLOSCE, Steane. BMW Hydrogen 7 [online]. 2007 [cit. 2014-05-28]. Dostupné z: <http://www.themotorreport.com.au/483/bmw-hydrogen-7>
- [65] GROUP LOTUS PLC. ZERO EMISSION FUEL CELL TAXI [online]. 2013 [cit. 2014-05-28]. Dostupné z: <https://www.grouplotus.com/gb/engineering/case-study-hydrogen-fuel-cell-taxi>
- [66] BUCHMANN, Isidor. CADEX ELECTRONICS INC. Battery University [online]. 2014 [cit. 2014-05-28]. Dostupné z: <http://batteryuniversity.com>



ZOZNAM PRÍLOH

Príloha P1: Tab. 11 Porovnanie výkonových, ekologických a ekonomických ukazovateľov prevádzky automobilov s rôznou koncepciou pohonu.