

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Dopravní prostředky na zemi

bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Vladimír Roubík, CSc.

Vypracoval: Jaroslav Vodenka

PRAHA 2008

P r o h l á š e n í

Prohlašuji, že bakalářskou práci na téma „Dopravní prostředky na zemi“ jsem vypracoval samostatně pod vedením RNDr. Vladimíra Roubíka, CSc. Použitou literaturu a podkladové materiály uvádím v příloženém seznamu literatury.

V Praze dne 10. 4. 2008

Na tomto místě bych chtěl poděkovat RNDr. Vladimíru Roubíkovi CSc. za odborné vedení a své přítelkyni za cenné rady a připomínky.

1.	Úvod	1
2.	Fyzikální podstaty	3
2.1.	Smýkání	3
2.2.	Valivý odpor	4
2.3.	Faradayův indukční zákon	5
2.4.	Parní stroj	6
2.5.	Spalovací motory	7
2.5.1.	Zážehový motor	8
2.5.2.	Vznětový motor	9
2.6.	Fotovoltaický článek	10
3.	Historie dopravy	11
3.1.	Pravěk	11
3.2.	Před naším letopočtem	11
3.3.	Středověk	11
3.4.	Století páry	12
3.4.1.	Parní vůz	12
3.4.2.	Parní lokomotiva	13
3.5.	Spalovací motory	14
3.5.1.	Plynový motor	14
3.5.2.	Vznětový motor	15
3.5.3.	Zážehový motor	16
3.6.	Elektrická lokomotiva	17
3.6.1.	Stejnoseměrná elektrická lokomotiva	17
3.6.2.	Střídavá elektrická lokomotiva	18
4.	Současnost, budoucnost	19
4.1.	Hybridní pohon	19
4.2.	Solární pohon	20
4.3.	Palivové články	21
4.4.	Lineární spalovací motor LCE	22
4.5.	Vlaky na magnetickém polštáři	23
4.6.	Hydráty metanu	26
5.	Závěr	27
6.	Přílohy	28
7.	Literatura	30
8.	Seznam obrázků	32

Abstrakt: Cílem mé bakalářské práce je zmapování historického vývoje pozemní dopravy. V první kapitole jsou rozebrány a vysvětleny jednotlivé fyzikální podstaty pohybů. V kapitole „Historie“ jsou popsány druhy dopravy od pravěku až po současnost. „Současnost a budoucnost“ přibližuje dnešní moderní technologie pohonu dopravních prostředků s pohledem do budoucnosti na alternativní zdroje energie. Zmíněny jsou jejich výhody, nevýhody, možná omezení a perspektiva, a to i z ekonomického hlediska. V závěru jsou shrnuty zmíněné druhy dopravy společně s budoucí vizí.

Klíčová slova: historie, doprava, vývoj, pozemní

Ground means of transport

Summary: The aim of this bachelor work is to present the development of ground means of transport. In the first chapter physical nature of different motions is discussed. In the ‚History‘ chapter there are described means of transport since prehistory through middle ages up to the present day. ‚Present and future‘ outlines today’s modern technologies of vehicles‘ drives with an outlook to the future for alternative energy resources. Their advantages, drawbacks, possible limitations, prospects and economical issues are mentioned and their efficiency is compared. In conclusion all means of transport are summarized together with a vision of the future.

Key words: history, transport, progress, ground

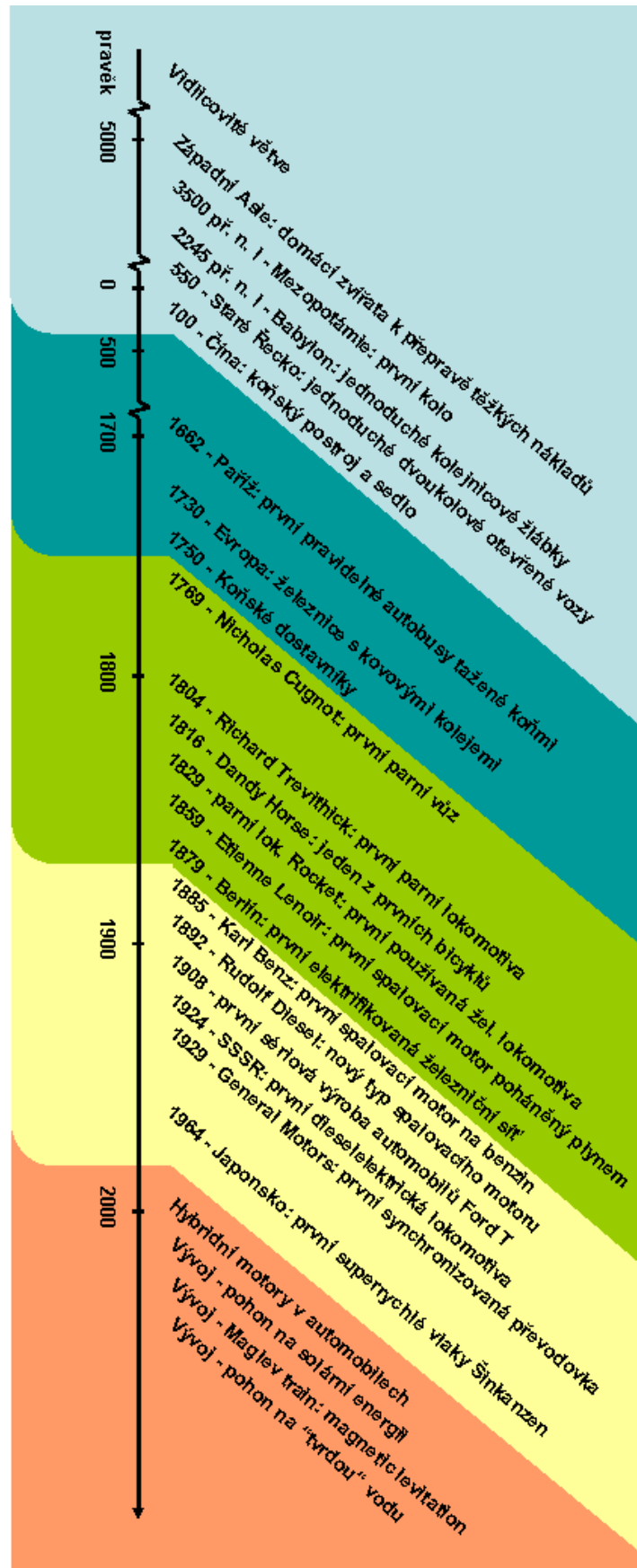
1. Úvod

Doprava hraje v životě člověka velkou roli. Zpočátku lidem jen umožňovala určitým způsobem překonávat vzdálenosti, ale v dalších staletích se stala hybnou silou společnosti. Funkčnost dopravy je důležitým předpokladem hospodářského růstu a prosperity země. Možnosti, které světová doprava v současnosti nabízí cestujícím i nákladu, jsou nepřehledné. Dnešní doprava se snaží sladit rychlost, bezpečnost, hospodárnost a v osobní dopravě i pohodlí a kulturu cestování. Usiluje o pravidelnost, plynulost, hustotu dopravní sítě i uspokojení sezónních nároků.

Ve své bakalářské práci bych chtěl zmapovat vývoj dopravy na zemi, od prvopočátků lidstva, přes staletí vývoje a modernizací až po současné druhy. Na začátku budou popsány fyzikální podstaty pohybů a zdrojů energie. Poté shrnu historický vývoj dopravy. Jednu samostatnou kapitolu věnuji současným a budoucím technologiím dopravy kvůli vyčerpatelnosti zdrojů, která je v současnosti velmi diskutovaným problémem.

Podkladem k historii dopravy mi budou hlavně odborné knihy a encyklopedie. Internetové stránky, na kterých lze najít aktuální informace, poslouží převážně jako zdroj k současným pohonům, alternativním zdrojům a principům budoucích pohonů.

obr. 1 Časová osa



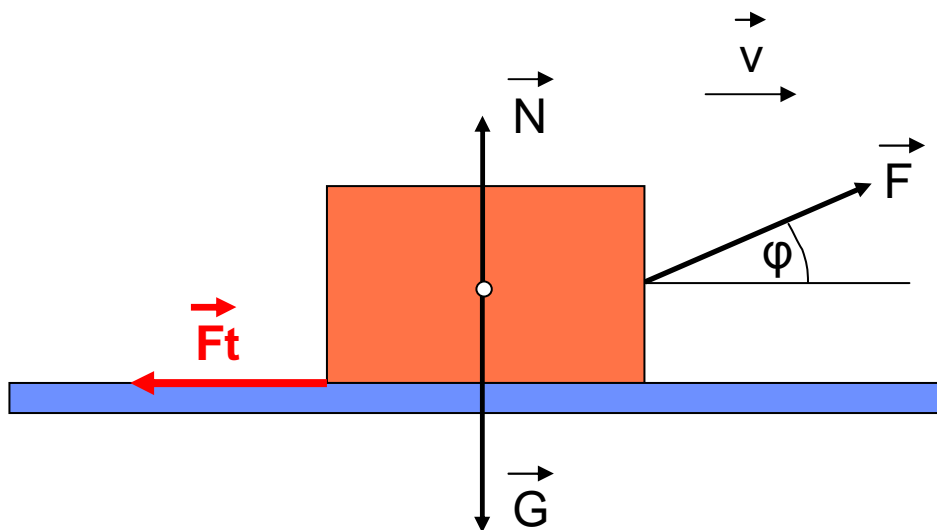
Zdroj: Vytvořeno autorem bakalářské práce

2. Fyzikální podstaty

2.1. Smýkání

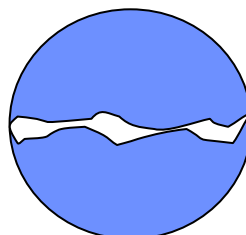
Smykové tření vzniká kvůli nerovnostem povrchu obou styčných ploch, kterými se tělesa dotýkají. Dochází ke vzájemné interakci nerovností, tzn. jejich deformaci, obrušování a zahřívání (viz obr. 2).

obr. 2 Síly působící při smýkání



Vzniká třecí síla F_t , která má působiště v rovině styku ploch a působí proti směru pohybu. Její velikost závisí především na velikosti tíhové síly G a je k ní přímo úměrná, dále na součiniteli smykového tření f .

obr. 3 Nerovnosti povrchů – detail



2.2. Valivý odpor

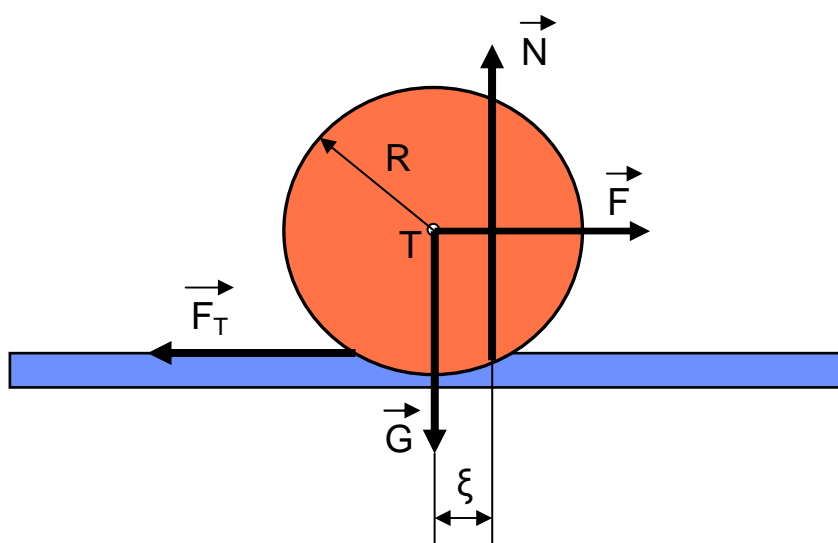
Valivý odpor vzniká vždy, když se těleso oblého tvaru valí po pevné podložce. Při valení tělesa po nedokonale pružné podložce dochází působením tíhové síly G k deformaci. Odporová síla (síla valivého odporu) je tedy vyvolána deformací podložky i tělesa. Následkem deformace se skutečná normálová síla vysune kupředu o rameno valivého odporu ξ [m]. Pro velikost síly F platí:

$$F = \frac{G}{R} \cdot \xi = \frac{m \cdot g}{R} \cdot \xi$$

Pohybuje-li se těleso rovnoměrně přímočaře, pak velikost odporové síly F_T , která je opačného směru než F , je:

$$F_T = \frac{m \cdot g}{R} \cdot \xi$$

obr. 4 Síly působící při valení



Setkáme se s ním např. při pohybu v písku, kdy za sebou kolo nechává viditelnou stopu. Dobře jsou také vidět stopy od pneumatik automobilu při jízdě po polní cestě. Za stejných podmínek je odporová síla při valení mnohem menší než odporová síla při smykovém tření. Proto se tření nahrazuje v praxi valením. Například těžké břemeno se podkládá válečky, díky kterým je manipulace mnohem snadnější.

2.3. Faradayův indukční zákon

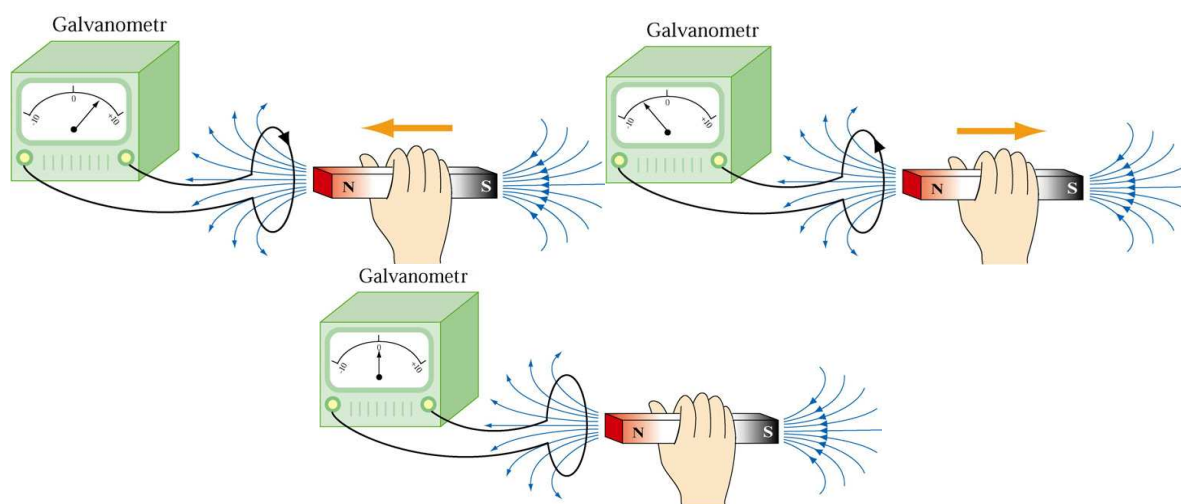
Faradayův zákon elektromagnetické indukce můžeme definovat takto: „*Elektromotorické napětí U indukované ve smyčce je rovno rychlosti změny magnetického toku Φ , který smyčkou prochází.*“¹ Jeho střední hodnota lze zapsat jako:

$$U_i = -\frac{d\Phi}{dt} = -L\frac{dI}{dt}$$

Znaménko mínus ve vzorci vysvětluje Lenzovo pravidlo. To říká: „*Indukované elektromotorické napětí má takový směr, že proud jím vyvolaný působí proti změně, která toto napětí vyvolala.*“²

Faraday experimentem zjistil, že dokud je magnet vzhledem ke smyčce v klidu, nenaměří na ní žádný proud. Pokud se však magnet začne vůči smyčce pohybovat, začne se indukovat proud. Když se magnet přibližuje, indukuje se proud opačné polarity, než když se magnet od cívky vzdaluje.

obr. 5 Elektromagnetická indukce



Zdroj: www.aldebaran.cz/elmg/kurz.html

¹ MACHÁČEK, Martin: *Encyklopedie fyziky*. Dotisk 1. vyd. Praha: Mladá fronta 1999, s. 238

² ROUBÍK, Vladimír, SEDLÁČEK, Jan: *Fyzika – Příklady*. 1. vyd. Praha: ČZU, 2001, s. 104

Pro cívku platí:

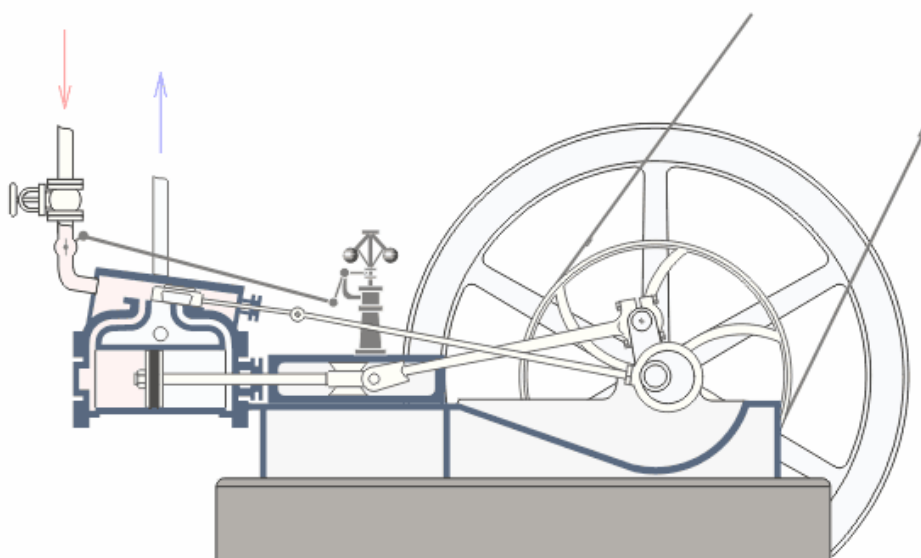
- čím více závitů má, tím je indukované napětí větší
- čím rychleji se mění mg. pole v cívce, tím větší napětí je na jejích vývodech
- při stejné rychlosti změny magnetického pole se vyšší napětí indukuje na cívce, která je umístěna v silnějším magnetickém poli a má průřez o větší ploše

Faraday přinesl do fyziky několik důležitých pojmů jako například magnetické a elektrické siločáry. Nezajímal se o samotné magnety, ale spíše o magnetické pole mezi nimi. Tím připravil půdu pro moderní fyziku. Taká objevil, že když projde světlo magnetickým polem, tak se změní jeho polarizace.

2.4. Parní stroj

Parní stroj přeměňuje tepelnou energii páry na energii mechanickou. Tento vynález je připisován Jamesu Wattovi. V 19. století se stal parní stroj nejvýznamnějším zdrojem energie pro dopravu a průmysl. Hlavní nevýhodou je účinnost, která je oproti spalovacím motorům 2-3 x menší.

obr. 6 Princip parního stroje



Zdroj: http://www.wielkaencyklopedia.com/cs/wiki/Parn%C3%AD_stroj.html

Princip činnosti spočívá ve vedení páry přes regulátor do šoupátkové komory. Odtud je pára rozdělována do válce, kde svým tlakem způsobuje pohyb pístu. Použitá pára je přes šoupátkovou komoru vypouštěna ven. Posuvný pohyb pístu je přes pístní tyč a ojnici přenášen na kliku, která posuvný pohyb převádí na rotační.

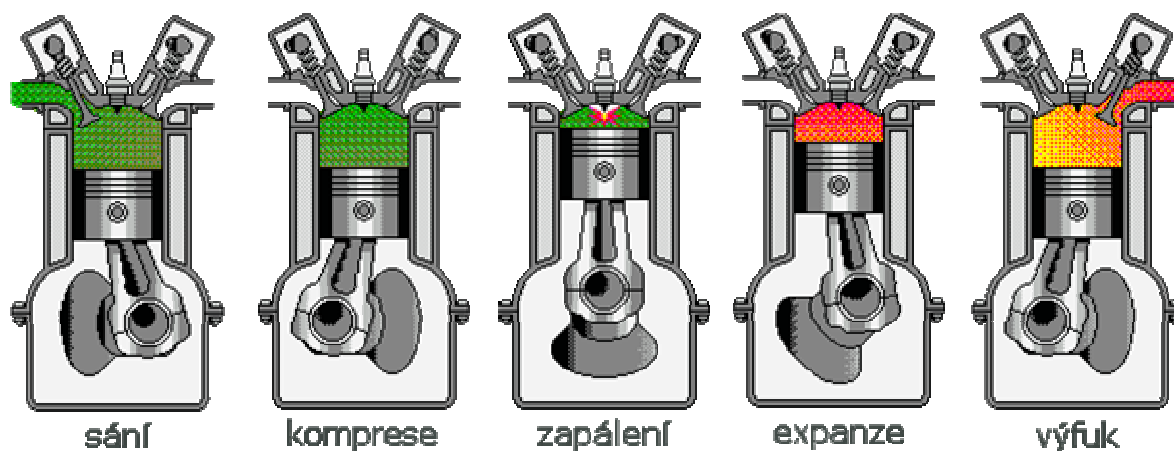
2.5. Spalovací motory

Pístové spalovací motory jsou stroje, které převádějí chemickou energii paliva na mechanickou práci. Ve spalovacích motorech se převážně využívá čtyřdobý oběh, který je stejný jak pro zážehové motory tak i pro vznětové. Mezi výhody patří vysoká účinnost využití tepla přivedeného palivem, jednoduchost, snadné ovládání, dobré konstrukční a technologické parametry a nezávislost na vnějším přívodu energie. Nevýhody jsou spouštění cizím zdrojem, hlučnost, chvění, malá přetížitelnost, emise škodlivin (především CO, NO_x, PM a HC).

Čtyřdobý oběh:

- **sání** – plnění válce, pohyb pístu z horní úvratě (HÚ) do dolní úvratě (DÚ)
- **kompresce** – stlačování směsi, pohyb pístu z DÚ do HÚ, těsně před HÚ probíhá zážeh (vznět) a hoření
- **expanze** – pohyb pístu z HÚ do DÚ, dohoření směsi, expanze spalin, píst koná mechanickou práci
- **výfuk** – výfuk spalin do výfukového potrubí

obr. 7 Čtyřdobý cyklus

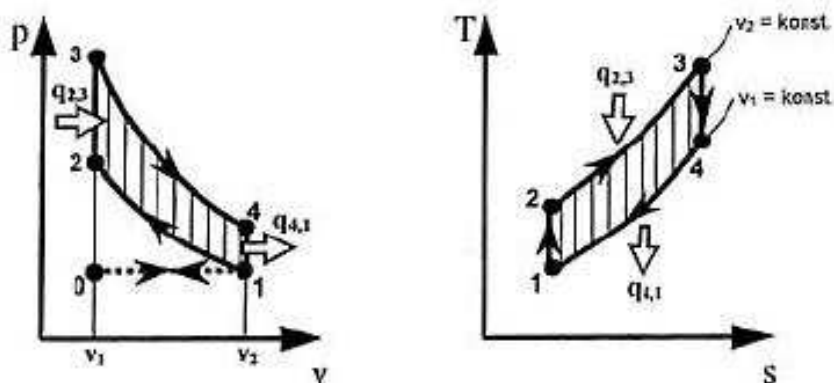


Zdroj: <http://lide.uhk.cz/pdf/student/dubisvl1/skola/Tepeln%C3%A9%20motory.htm>

2.5.1. Zážehový motor

Zážehové motory spalují směs odpařeného paliva a vzduchu zažehnutého elektrickou jiskrou. Množství palivové směsi přicházející do válce je regulováno škrtkicí klapkou. V hlavě válce jsou kanály (sací a výfukový), které jsou střídavě zavírány a otevírány sacím a výfukovým ventilem. Pohyb ventilů je řízen vačkovým hřídelem. Dále je v hlavě upevněná svíčka. Počet dob nezávisí na počtu válců. Kompresní poměr se musí volit tak, aby nedocházelo k samozapalování směsi ($T_2 \leq T_{vzn}$).

obr. 8 Oběh zážehového spalovacího motoru v $p-v$ a $T-s$ diagramu



Zdroj: ADAMOVSKEÝ, NEUBERGER, *Termomechanika I*, s. 60

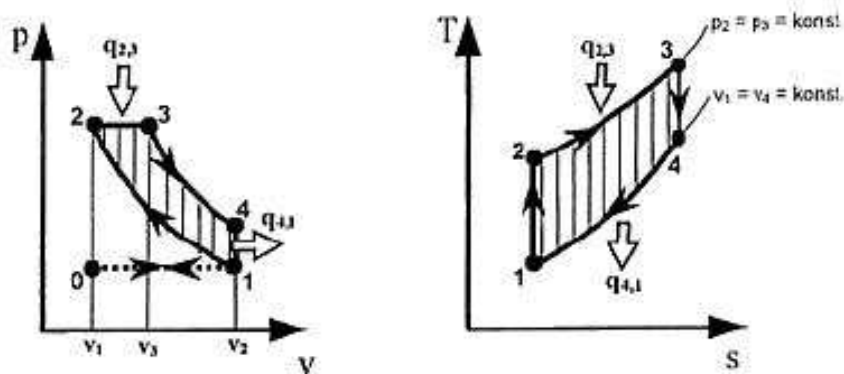
Průběh jednoho oběhu:

- otevřen sací ventil, motor nasává za atmosférického tlaku směs vzduchu a paliva
- adiabatická komprese ze stavu 1 do stavu 2, kde se směs zapálí svíčkou a hoří za stálého objemu \rightarrow přivedené teplo $q_{2,3}$
- adiabatická expanze ze stavu 3 do stavu 4, kde se otevře výfukový ventil a spaliny expandují z válce za stálého objemu \rightarrow odvedené teplo $q_{4,1}$
- za atmosférického tlaku se vytlačí zbytek spalin a oběh se může opakovat

2.5.2. Vznětový motor

Vynálezcem vznětového motoru je **Rudolf Diesel**. Nápad mu vnukla tzv. malajská trubice, což je dobře těsnící trubička s pístem, na jejímž dně je hořlavá látka. Takovému jevu se říká kompresní zapalování. Princip spočívá ve stlačení rozžhaveného vzduchu, do kterého se vstříkne hořlavá směs, jež se okamžitě zapálí. Pak následuje vypuštění zplodin a nasátí nového vzduchu, který se opět stlačí. Z výše uvedených důvodů nemá Dieselův vznětový motor zapalovací svíčku ani karburátor.

obr. 9 Oběh vznětového spalovacího motoru v p - v a T - s diagramu



Zdroj: ADAMOVSKEJ, NEUBERGER, Termomechanika I, s. 60

Průběh jednoho oběhu:

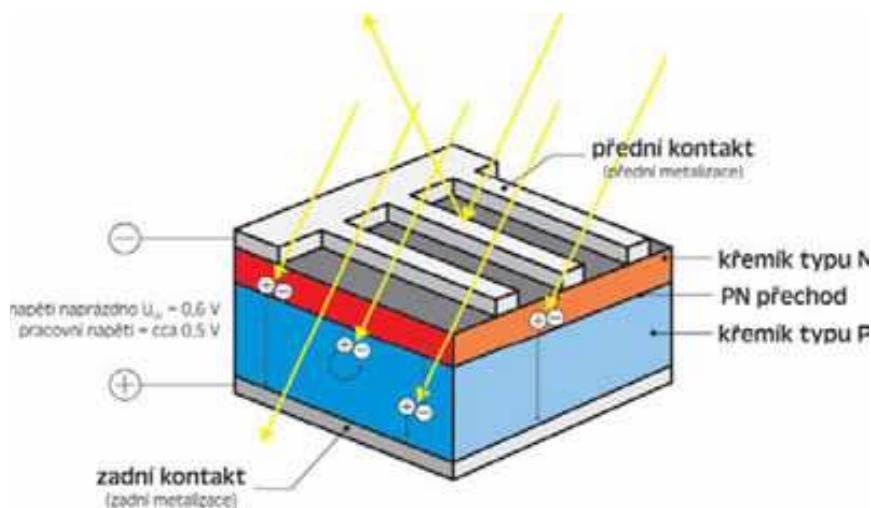
- nasávání vzduchu při atmosférickém tlaku
- adiabatická komprese 1-2
- v bodě 2 se do válce vstříkne palivo, které se v komprimovaném vzduchu samo vznítí a hoří za stálého tlaku → přivedené teplo $q_{2,3}$, po vyhoření probíhá adiabatická expanze 3-4, v bodě 4 se otevře výfukový ventil → odvedené teplo $q_{4,1}$
- z válce se vytlačí zbytky spalin a oběh se může opakovat

2.6. Fotovoltaický článek

Tento jev objevil roku 1839 francouzský experimentální fyzik **Edmund Becquerel**. Princip spočívá ve vzájemném působení slunečního záření – elektromagnetického vlnění a hmoty. Fotovoltaický článek je velmi podobný polovodičové diodě. Základem článku je destička s vodivostí typu P, na které je vytvořena vrstva typu N. Jednotlivé vrstvy jsou odděleny P-N přechodem. Při dopadu záření vznikne v polovodiči fotovoltaický jev, při kterém dochází k uvolňování elektronů z krystalové mřížky. Na přechodu P-N tak vzniká elektrické napětí. Dochází tak k přeměně energie záření na energii elektrickou.

Ne všechno sluneční záření je schopno uvolňovat elektrony. Záření s malou energií nedokáže elektrony odtrhnout. Naopak záření s velkou energií se rozdělí na energii potřebnou k uvolnění elektronu a zbytek se přemění na teplo. V tomto případě se fotovoltaický článek ohřívá, a tím klesá jeho účinnost. K výrobě článků se nejvíce používá křemík (Si), dále pak kadmium telurid (CdTe), CuInSe₂ a CIS.

obr. 10 Princip činnosti solárního článku



Zdroj: <http://www.ekowatt.cz/index.php?id=118>

3. Historie dopravy

3.1. Pravěk

Pravěký člověk si prošlapával pěšiny a stezky, aby se snadněji dostal k lovištím. Pokládal větve přes potoky a bažiny, aby si usnadnil cestu. Postupem času zjistil, že se mu lépe přepravují úlovky v zimě na sněhu než v létě po kamenitých cestách. To má na svědomí součinitel smykového tření, který je u každé dvojice materiálů jiný. Časem se naučil tento součinitel zmenšovat. Pro dopravu na sněhu vymyslel jakési prapředky dnešních lyžnic, které součinitele snižovaly. Úlovek dopravoval do příbytků na svých bedrech, primitivních nosítkách či na vidlicových větvích. Tímto způsobem využil nejjednodušší způsoby dopravy, kterými si ulehčil práci.

3.2. Před naším letopočtem

Již dávno před naším letopočtem lidé vynalezli kolo a povozy a použili zvířata (koně, mezky, skot) k tažení. S jejich pomocí mohli přepravovat náklady na mnohem větší vzdálenost než doposud. Zjistili, že těžké náklady se nejlépe dopravují vozy, a to tím snadněji, čím je cesta pod koly hladší a pevnější. Proto začaly vyspělé národy stavět pro dopravu silnice. Asyřané, Egypťané, Číňané, Indové či Babyloňané budovali sítě silnic napříč území. Avšak až římské impérium vybuodovalo pracovanou silniční síť, která spojovala Řím i s těmi nejvzdálenějšími provinciemi.

3.3. Středověk

Tato doba byla z hlediska dopravy po staletí ovládnuta pouze člověkem a koňmi s povozem. Během středověku se pozornost věnovala především zvýšení užitku tažné síly zvířat. Ve 12. století se objevil pevný chomout, který lépe rozložil tlak na plece koní, a tak podstatně zvýšil jeho sílu. Dále se začaly používat tzv. postraňky, které vedly od chomoutu buď na korbu nebo k přední nápravě. Díky postraňkům se dali zapřahat koně nejen vedle sebe, ale i za sebou, což zvětšovalo možnou hmotnost přepravovaného materiálu. Ta byla limitována jen konstrukcí, velikostí vozu a kvalitou cest.

V 18. století začal velký rozvoj cest. Nejprve dal Karel VI. opravit hlavní zemské tahy, po něm do silniční sítě investovala Marie Terezie a Josef II.

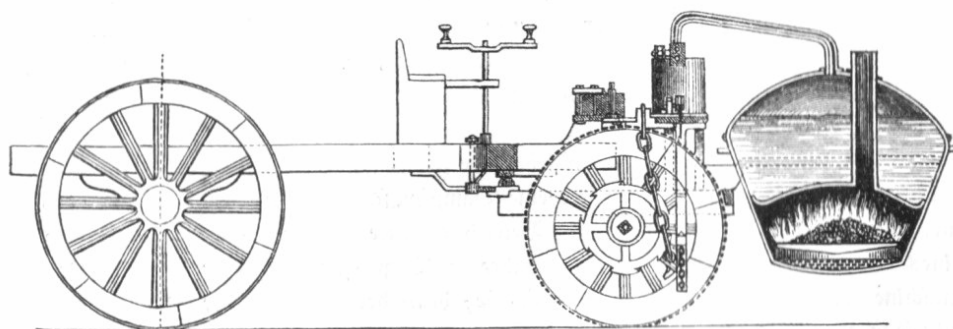
3.4. Století páry

„Hýbovoz se jmenuje stroj (mašina), v kterém se topením kotle vodou naplněného tvoří pára, jenž náramnou silou svou žene tento stroj, na kterém ostatní vozy přivěšené jsou.“³

3.4.1. Parní vůz

V roce 1769 zkonstruoval Nicholas Cugnot první prakticky využitelné parní vozidlo na světě. Byl to francouzský vojenský inženýr odpovědný za výzbrojní zabezpečení armády. Vyrobil tříkolový traktor na tahání děl, který byl záhy po nárazu do zdi nenávratně zničen. Rychlost tohoto traktoru činila ovšem pouze 3,2 km/h, proto se výrazněji neprosadil. Cugnot později neměl peníze na jeho vylepšování, a tak vývoj parního vozu čekal na další vynálezce.

obr. 11 Parní vůz Nicholase Cugnota



Zdroj: http://www.arikah.net/commons/en/e/e9/Nicholas_Cugnots_Dampfwagen.jpg

Vynález parního stroje zpočátku nenašel u lidí patřičné pochopení a podporu. Jeho rozvoj v následujících desetiletích znamenal usnadnění provozu dopravy. Můžeme říci, že v této době začíná éra strojů, které využívají tepelnou energii ze spalování paliva jako pohon motoru. Vynálezci si na přelomu 18. a 19. století nelámali hlavu nad tím, jestli jejich stroje znečišťují životní prostředí nebo plýtvají neobnovitelnými zdroji. Jejich záměrem bylo usnadnění práce. Lidé byli rádi, že k přepravě těžkých nákladů mohou použít stroje. Trvalo

³ POHL, NOVOTNÝ, *Železniční vozidla I.*, 1. vyd. Praha: ČVUT, 2002, s. 9

však dlouho, než překonali strach z toho, že by se mohl v parním kotli vytvořit příliš velký tlak a mohlo by dojít k explozi. Dokonalou porážku připravili vynálezci parních strojů vynálezci parních lokomotiv. Parní lokomotiva se tak na dlouho dobu ujala vlády.

3.4.2. Parní lokomotiva

Důlní inženýr Richard Trevithick se zabýval konstrukcí vozidel na parní pohon. V roce 1803 uzavřel Trevithick sázkou s majitelem dolu v anglickém Penydarrenu, že sestrojí parní lokomotivu, která dokáže utáhnout náklad 10 tun. O rok později stála lokomotiva na kolejích a byla schopna utáhnout až 26 tun nákladu. První vysokotlaká parní lokomotiva byla na světě. Bohužel jí v zápětí vystřídali opět koně, protože pod výkonnou, ale těžkou lokomotivou, praskaly kolejnice. Trevithick se snažil postavit další lokomotivu co nejdříve. Ta se však nedokázala rozjet, protože jí prokluzovala kola.

Následovalo několik méně úspěšných a málo efektivních pokusů o sestrojení nové lokomotivy. Teprve až William Hedley pochopil a prakticky potvrdil, že k rozjetí lokomotivy je potřeba dostatečný tlak kol na kolejnici. Znamená to, že třecí síla závisí na tlaku kol. Začal tedy mechanicky spřahovat hnací kola. První soutěž o nejrychlejší lokomotivu vyhrála *The Rocket* George Stephensona, která utáhla náklad 12 tun rychlostí 21,5 km/h. Zvítězila díky tomu, že Stephenson vedl plameny z ohně 25 měděnými žárovými trubkami vodní náplní kotle. Ojnice dvou parních kotlů poháněla rovnou přední hnací kola. V příloze naleznete schéma parní lokomotivy (schéma 3).

Stroje v té době začaly mít nedostatečný výkon k převážení stále těžších a těžších nákladů. Tak přišlo i na zvyšování tlaku páry ve válci a tím vzrostl výkon. Tak např. v roce 1846 byl tlak v parním kotli Cramptonovy lokomotivy 0,8 MPa (8 ATM). Mohla tedy jet rychlostí až 120 km/h. Koncem 19. století se už tlak v kotli pohyboval v rozmezí 2 – 2,5 MPa, před 2. světovou válkou v extrémních případech dokonce 6 - 12 MPa.

Jedním z velmi důležitých “zlepšováků“ byl tzv. přehřívák páry W. Schmida, ve kterém se pára z kotle ohřívala z teploty 190°C na 350 - 400°C. Přehřátá pára zvýší výkon až o 40 % ve srovnání se sytou párou u těžké lokomotivy. Přitom se dosáhne větší hospodárnosti, spotřeba paliva je menší asi o 30 %, spotřeba vody až o 35 %. Užitím přehřáté páry se dosáhlo také

zjednodušení lokomotivy, zmenšení počtu dvoukolí, váhy a rozměrů. Současně byly též nižší pořizovací a udržovací náklady.

Výrobu parních lokomotiv ukončila jak jejich malá účinnost, která nepřekročila 16 %, tak i fakt, že spáleného paliva se na užitečnou práci přemění pouze 5 – 6 %.

3.5. Spalovací motory

3.5.1. Plynový motor

První vozidla se spalovacími motory spalovala směs plynu a vzduchu. Jako plyn byl použit svítíplyn. Prakticky použitelné vozidlo patentoval roku 1859 Francouz belgického původu Jean Joseph Etienne Lenoir. Plynový motor získával na oblibě, a tak se oči světových vynálezců (Daimler, Benz, Otto Baryton, Hock) upíraly k jeho vylepšování. Roku 1872 byl v Ottově spalovacím motoru poprvé použit zemní plyn – metan. Koncem 19. století se vytlačení plynu benzinem a naftou zdálo téměř jisté. Do popředí se plyn opět dostal za první a druhé světové války, kdy byl nedostatek kapalných paliv a státy měly dostatečné zásoby uhlí. Vozidla na plyn měla oproti vozidlům na kapalná paliva řadu výhod, především levnější a ekologičtější provoz a lepší start za nízkých teplot. Nevýhodou zase byla velká nádrž nebo vak na nestlačený plyn, který omezoval akční rádius vozidla. Z toho důvodu začala pozornost směřovat ke stlačenému plynu.

Od začátku 20. století se v Evropě zemní plyn používá u autobusů městské hromadné dopravy.

obr. 12 Použití plynového motoru

Český osobní automobil Wikov– 30. léta 20. století (vlevo), Londýn / 2. světová válka (vpravo)



Zdroj: http://www.cng.cz/cs/zemni_plyn/historie/histoire_plynu_v_doprave.html

3.5.2. Vznětový motor

Autorem vznětového motoru je Rudolf Diesel. První zkoušky vznětového motoru nedopadly dobře. Na vině byl fakt, že palivo bylo do válce dopravováno pomocí proudícího vzduchu. Plyny odcházely z válce ještě hořící, škrtková klapka fungovala nespolehlivě. Po radikální úpravě vznikl motor, kde bylo palivo s pomocí čerpadla dopravováno přímo do válce. Tepelná účinnost motoru byla téměř dvojnásobná než u parního stroje, tedy zhruba 26,2 %. A právě tomuto parametru se během vývoje věnovala značná pozornost. Bez dalších vynálezů a zlepšení by ale Dieselův motor nezastával takovou pozici mezi spalovacími motory jako dnes.

Dělené spalovací prostory vyvinul Prosper L'Orange. Jde o přídavnou komůrku mezi vstřikovacím čerpadlem a spalovacím prostorem, ve které se spaluje část paliva. Vzniklý tlak dopraví zbytek paliva do hlavního spalovacího prostoru. To umožnilo stavbu mnohem kompaktnějších motorů. **Vstřikovací čerpadlo** vyvinul Bosch v roce 1927. S jeho pomocí bylo možné vyrobit malý vysokootáčkový motor, používaný nejprve v nákladní, posléze v osobní dopravě. Čerpadlo umožňovalo časovat vstřikování, nastavovat přesné množství vstříknutého paliva a pracovat pod velkým tlakem.

Dnes se používá především moderní vstřikovací systém **Common-Rail**. Zásobník umístěný uvnitř systému uchovává palivo pod vysokým tlakem. Z něj je palivo dále rozvedeno k jednotlivým vstřikovačům ve válcích. Díky velmi rychlému elektromagnetickému ventilu je možné opakovat pět i více vstřiků během cyklu.

V současnosti se výrobci předhánějí v nových technologiích a inovacích. Vzhledem k blížící se normě EURO 5 se zdokonaluje především redukce spalin. Používají se oxidační katalyzátory, filtry pevných částic (FAP) a selektivní katalytická redukce (SCR). Struktura tvořená oxidem křemičitým umožňuje mechanicky zachycovat pevné částice při průchodu výfukových plynů. Dále se používá vnější recirkulace výfukových plynů, kdy se část plynů přivádí znovu do spalovacího prostoru. Tím se snižuje produkce emisí NO_x , které nelze u těchto motorů odstranit řízeným třícestným katalyzátorem.

3.5.3. Zážehový motor

Karl Friedrich Benz vynalezl jeden z prvních použitelných automobilů ve sféře osobní dopravy. Zdokonalil čtyřdobý motor podle Ottova patentu (958 ccm). Jeho první vůz měl tříkolový podvozek, diferenciál a vodní chlazení.

V zážehovém motoru je směs benzínu a vzduchu zapalována elektrickou jiskrou od zapalovací svíčky. Oproti vznětovým motorům pracuje při nižším tlaku, jeho nejvyšší točivý moment a výkon leží ve vyšších otáčkách a je tišší. Dále musí být teplota v 2. době, čili kompresní teplota, nižší než teplota samovznícení paliva. Podle přípravy směsi dělíme motory na karburační a vstřikovací. U karburačních se směs připravuje v karburátoru, u vstřikovacích se směs vytvoří po vstříknutí paliva do spalovacího prostoru.

Potřeba větší účinnosti dala vzniknout dalším konstrukcím motorů. Například Wankelův rotační motor, vynalezený roku 1957 německým inženýrem Felixem Wankelem, pracuje na stejném principu jako čtyřdobý pístový motor, ale vybuchující směs paliva a vzduchu otáčí trojstranným rotorem, který se pohybuje stále stejným směrem a pohání tak hřídel přímo. Píst Wankelova motoru má průřez rovnostranného trojúhelníku se zakřivenými stranami. Největší nevýhodou tohoto motoru je opotřebení lišt rotoru, což má za následek pronikání plynů do skříně rotoru.

U dnešních spalovacích motorů se hledí hlavně na emise, jejichž limity se stále zpřísňují. Nejnověji se má zavést norma EURO 5, která začne platit od 1. října 2009. Stanovuje limity pro automobily. U vznětových motorů je to například maximálně 180 mg/km oxidů dusíku a 0,5 mg/km pevných částic. Emise se dají ovlivnit směšovací poměrem nebo tvorbou směsi, předstihem a energií zážehu, vnitřní a vnější recirkulací výfukových plynů, řízeným třícestným katalyzátorem a sběrným katalyzátorem No_x .

3.6. Elektrická lokomotiva

Hlavní rozdíl oproti parní lokomotivě je její rychlý a bezhlučný rozjezd. Původně potřební 2 – 3 pracovníci, kteří byli v neustále špinavém prostředí, jsou nahrazeni jedním strojvůdcem v čisté a tiché kabině. Díky svému velkému výkonu 5000 – 6000 kW dnes jedna elektrická lokomotiva nahrazuje tři parní.

3.6.1. Stejnoseměrná elektrická lokomotiva

První elektrická lokomotiva na stejnosměrný proud spatřila světlo světa v Berlíně v roce 1879. Jejím základem byl stejnosměrný elektromotor napájený přes reostat proudem z třetí, vyvýšené kolejnice. Dále byly vyvinuty výkonnějších a rychlejších lokomotivy. Jmenujme např. Wernera von Siemense nebo T. A. Edisona. V roce 1895 R. Sprague poprvé použil k napájení lokomotivy smýkadlo klouzající po vrchním vedení, které se používá prakticky dodnes. Schéma stejnosměrné elektrické lokomotivy je uvedeno v příloze (Schéma 1).

Elektrický motor tvoří stator a kotva. Společně vytvářejí magnetický obvod se vzduchovou mezerou. Stator je odlit z oceli nebo je svařen z plechů. Budicí vinutí je vyrobeno jako samostatná část. Cívky jsou spojeny tak, aby se polarita pólů po obvodu střídala. Ve statoru se otáčí kotva (rotor) složená z dynamových plechů (vzájemně odizolovaných kvůli vířivým proudům) s drážkami, v nichž jsou uloženy aktivní strany cívek. Plechy jsou opatřeny otvory, kterými prochází chladicí vzduch, kvůli části elektrické energie měnící se v teplo, které se musí odvádět. Hřídel kotvy je uložena v ložiskách, k mazání se používají tuková a olejová maziva.

3.6.2. Střídavá elektrická lokomotiva

Stejnoseměrné napájení neumožnilo dosáhnout velkého výkonu, a proto se technici zaměřili na střídavé napětí. Firma Brown – Boveri použila pro trať Burgdorf – Thun vedení s napájením 750V a 40 Hz. Jejich lokomotiva, přezdívaná „kolový parník“, měla elektromotor o výkonu 220 kW. Provoz byl ovšem nevhodný a těžkopádný, protože se konstruktéři snažili napodobit pohon parních lokomotiv.

V elektrických lokomotivách se začal používat Wernerem von Siemensem zdokonalený třífázový asynchronní motor. Byl jednoduchý, spolehlivý a umožňoval elektrické brzdění. Siemensovy motory však vyžadovaly trojité, vzájemně bezpečně odizolované vedení. Střídavý proud usměrňují polovodičové křemíkové diody. Schéma střídavé elektrické lokomotivy je uvedeno v příloze (schéma 2).

Pro průjezd tratěmi s více napájecím soustavami jsou konstruovány speciální vícesystémové lokomotivy, kterým nečiní problémy přejet z jedné soustavy do druhé. Příkladem může být často diskutované Pendolino. Na mapě (obr. 13) jsou znázorněny styky trakčních soustav v koridorech ČR. Modře jsou znázorněny 3 kV stejnosměrné, růžově 25 kV střídavé (50 Hz) a žlutě 15 kV střídavé (16,7Hz).

obr. 13 Styky trakčních soustav v koridorech



Zdroj: <http://www.k-report.net/koridory/provoz1.htm>

4. Současnost, budoucnost

4.1. Hybridní pohon

Automobil s hybridním pohonem využívá více zdrojů energie. Z každého se pak využívají výhody při různých režimech jízdy. Dnes nejčastěji narazíme na kombinaci spalovacího motoru a elektromotoru, která se označuje jako „sériový hybridní pohon“.

V městském provozu nebo při rovnoměrné jízdě je automobil poháněn elektromotorem, který je napájen z akumulátoru. V tomto provozu má nespornou výhodu v bezhlučnosti, nulové spotřebě paliva a nulových exhalacích. Při jízdě mimo město, na větší vzdálenosti nebo při potřebě větší akcelerace je elektromotor odpojen a pohon automobilu zajišťuje spalovací motor. V tu dobu funguje elektromotor jako stejnosměrný generátor proudu a dobíjí akumulátor. Rovněž při brzdění vytváří generátor energii pro dobíjení akumulátoru. Nevýhodou tohoto pohonu je výrazně vyšší pořizovací cena a problémy s umístěním a hmotností akumulátoru. Tyto automobily jsou nejvíce rozšířené s Japonsku a USA, v Evropě si své postavení teprve budují.

obr. 14 Uspořádání pohonu u Toyota Prius



Zdroj: http://auto2.lidovky.cz/clanek_lidovky.php?id_clanek=476

4.2. Solární pohon

Automobil na solární pohon používá jako zdroj své energie sluneční záření, které ve slunečních kolektorech přeměňuje na elektrickou energii. Z tohoto důvodu automobil neprodukuje žádné emise, což je jeho hlavní výhoda. Mezi nevýhody zatím patří vysoké pořizovací náklady a nutnost určité intenzity slunečního záření. Dále se nemůže v maximální rychlosti rovnat autům se spalovacími motory. Avšak solární pohon prochází neustálým zdokonalováním, takže je to možná jen otázka času.

Výhody:

- Nevyčerpatelný zdroj energie
- Žádné emise
- Tichý provoz (článek nemá pohyblivé části)
- Jednoduchá obsluha
- Velká spolehlivost

Nevýhody:

- Závislost na slunečním záření (proměnlivost)
- Krátká průměrná roční doba slunečního svitu
- Malá účinnost článku → větší nároky na plochu článků
- Vysoké pořizovací náklady
- Malá životnost v poměru k ceně

Jako příklad automobilu na solární pohon vezměme vozidlo francouzské automobilky Venturi Automobiles, Venturi Atrolab. Jde o elektro-solární vozítko, které se má jako první na světě komerčně prodávat. Automobil je pokrytý solárními články (celkem $3,6 \text{ m}^2$) s účinností 21 %. Venturi Atrolab je vybaven malým 16 kW elektromotorem, který však dokáže díky velice lehké karbonové konstrukci vyvinout rychlost až 120 km/h při dojezdu 110 km.

obr. 15 Venturi Astrolab



Zdroj: <http://www.hybrid.cz/novinky/venturi-astrolab-solarni-vozik>

V Austrálii se každoročně koná závod vozidel na solární pohon pod názvem World Solar Challenge. Jde o závod napříč celou Austrálií v délce zhruba 3021 km, z Darwinu do Adelaide. Účastní se celá řada týmů z mnoha zemí světa, které zde mohou testovat výkonnost svých solárních technologií. Dosavadní rekord zdolání trasy je 32 hodin a 39 minut. Jednoduchým výpočtem dostáváme průměrnou rychlost 92 km/h.

4.3. Palivové články

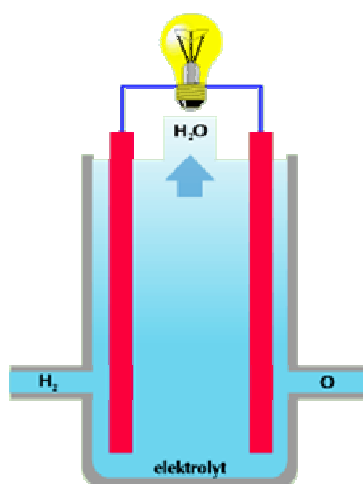
V palivových člancích se přeměňuje chemická energie na elektrickou. K uvolňování energie slouží na anodové straně palivo a na katodové straně oxidant. Pracují na podobném principu jako galvanické články, avšak s tím rozdílem, že palivové články vyvíjejí energii nepřetržitě, díky plynulé dodávce paliva k anodě a oxidantu ke katodě. V přítomnosti elektrolytu spolu palivo a oxidant reagují.

V současnosti se největší naděje upírá ke kyslíko-vodíkovým palivovým článkům. Vodík lze totiž vyrábět elektrolýzou z vody, které je dostatek. K většímu rozšíření ve sféře osobní automobilové dopravy zatím brání některé technické a ekonomické aspekty výroby a samozřejmě bezpečnost skladování vodíku, který tvoří se vzduchem výbušnou směs. Odborníci vedou diskuse o této „vodíkové politice“ a hledají odpověď na otázku, zda se

vyplatí či nikoliv. Vodíkové články se dnes používají například v ponorkách nebo raketoplánech. V jiných člancích se jako palivo používají uhlovodíky nebo alkoholy.

První stanici pro doplňování palivových článků otevřela automobilka DaimlerChrysler v Reykjavíku na Islandu v roce 2003. Slouží pro doplňování paliva městské hromadné dopravy.

obr. 16 Kyslíko-vodíkový palivový článek



Zdroj: <http://www.simopt.cz/energyweb/web/index.php>

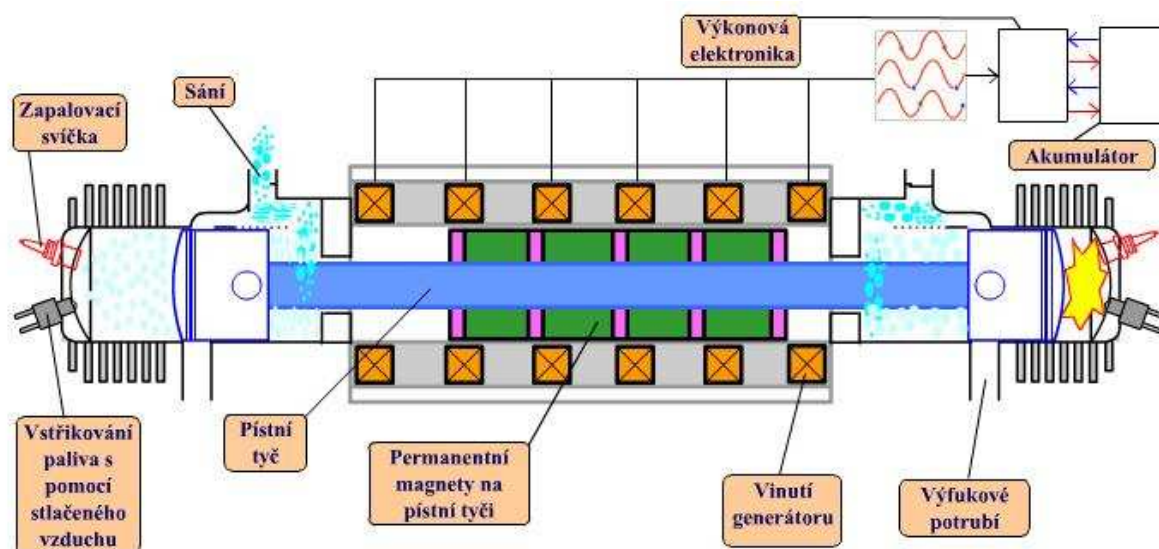
4.4. Lineární spalovací motor LCE

Linear Combustion Engine je nový typ spalovacího motoru, který nemá výstupní hřídel. Někdy se také nazývá jako motor s volnými písty (Free Piston Engine). Výkon se odebrává ve formě elektrické energie. Motor nemá klikovou hřídel ani klasický setrvačnick a lineární pohyb pístu se přímo převádí na elektřinu motorgenerátorem. Princip spočívá v přímém spojení dvou protiběžných pístů bez použití klikového mechanismu. Na pístní tyči jsou umístěny silné magnety, které se pohybují v magnetickém poli cívek, kmitavý pohyb pístů je převáděn na elektrickou energii na základě tzv. Faradayova zákona. Princip je stejný jako u „třepací baterky“, kterou známe z teleshopingu.

Motor může pracovat v dvoutaktním nebo čtyřtaktním cyklu. Dvoutaktní cyklus má při splnění určitých podmínek dokonce vyšší termodynamickou účinnost než cyklus čtyřtaktní.

Proto se například u velkých námořních lodí používají téměř výhradně motory s dvoutaktním cyklem.

obr. 17 Lineární spalovací motor



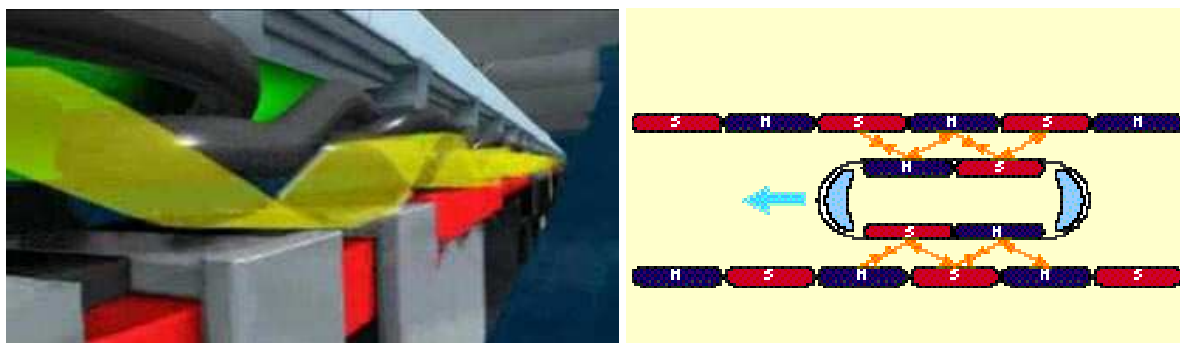
Zdroj: <http://www.lceproject.org/princip/princip.php>

4.5. Vlaky na magnetickém polštáři

S myšlenkou bezdotykového pohonu vozidel přišel v roce 1909 americký fyzik Robert Goddard. V roce 1912 využil tohoto nápadu francouzský inženýr Emile Bachelet, který Goddardovy magnety nahradil účinnějšími elektromagnety. První opravdové výzkumy vlaků na magnetickém polštáři započaly až v 60. letech. Japonsko i Německo také vyvíjely vlaky na magnetickém polštáři (maglev trans), úspěch se dostavil v 90. letech.

Existují 2 základní typy vlaků, EMS (ElektroMagnetic Suspension) a EDS (ElectroDynamic Suspension). Vlaky EMS a EDS pracují takřka na stejném principu. Oba využívají lineární motory (synchronní, asynchronní). Funkce lineárního motoru, jak je vidět na obrázku 18, vyvolá prostorovou vlnu, po které vlak doslova surfuje. Podle tohoto „polštáře“ dostaly vlaky své jméno. Z fyzikálního hlediska jde o praktické využití Faradayova zákona.

obr. 18 Princip „surfování“ vlaku



Zdroj: <http://www.gymfry.cz/zmp0405/bilcak/technologie.html>

Výhody:

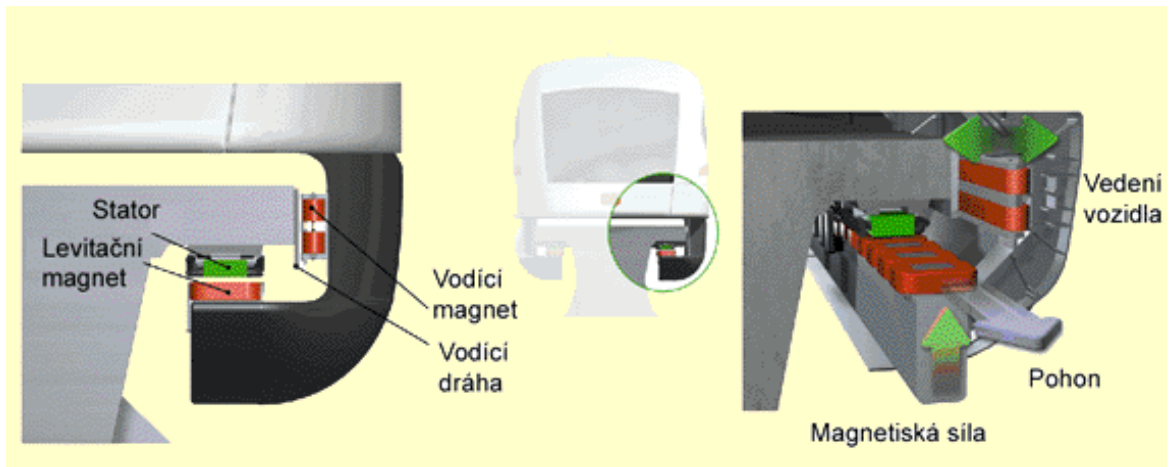
- Nedotýkají se tratě, z čehož vyplývá rychlejší akcelerace a brzdění
- Spolehlivější provoz při zhoršených klimatických podmínkách (sníh, mráz)
- Trvalá rychlost převyšující 500 km/h
- Překonává vyšší stoupání – až 10 %
- Menší spotřeba energie – napájena je pouze ta část tratě, na které je vlak
- Odpadá poškození trati vlivem velkých vibrací a vysokých rychlostí

Nevýhody:

- Potřeba vlastní tratě
- Neustálé připojení ke zdroji energie
- Dražší výstavba tratí
- Nedůvěra k bezpečnosti – výpadky energie
- Vyplatí se pouze na větších vzdálenostech - rychlost nevykompenzuje časté zastávky ve stanicích

EMS využívá elektromagnety namontované pod vlakem. Princip je vidět na obrázku 19. Pohybující se magnety indukují proud, který vytváří vlastní magnetické pole. a tím pohybující se magnety odpuzuje. Konstrukce vlaku se podobá ruce obepínající zábradlí.

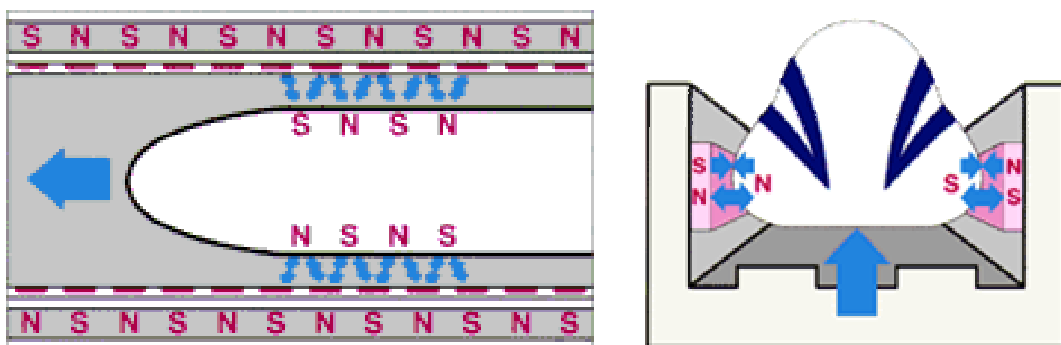
obr. 19 Princip EMS



Zdroj: <http://www.gymfry.cz/zmp0405/bilcak/technologie.html>

EDS využívá na zdvihnutí vlaku odporovou sílu mezi magnety vozidla a elektrických vodivých pásů nebo cívek v trati. Když se magnet přiblíží k supravodivé cívce, indukuje náboj ve tvaru kruhu. Supravodič má zanedbatelný odpor, proud se nezmění, protikladná magnetická pole budou rovněž konstantní a magnet se bude vznášet. Vlak musí být vybaven vlastním chladícím systémem, který chladí supravodič tekutým dusíkem na teplotu -140°C . Vzdálenost mezi vlakem a tratí je poměrně velká, 100 – 150 mm.

obr 20. Princip EDS



Zdroj: <http://www.gymfry.cz/zmp0405/bilcak/technologie.html>

4.6. Hydráty metanu

Hydráty metanu se vyskytují na mořském dně minimálně 500 metrů pod mořskou hladinou. Teplota vody zde dosahuje 4°C. Za těchto podmínek vzniká z plynného metanu (CH₄) krystalicky bílý sublimát, směs plynu a vody. Jeden krychlový kubík hydrátu metanu obsahuje přibližně 160 m³ plynného metanu. To je možné díky vzniku hydrátů pod velkým tlakem. Hydráty metanu vznikají pravděpodobně bakteriálním rozkladem nekromasy v nedokonale oxidačních podmínkách. Existují většinou nad podmínkami ropného okna a produkční zónou metanu. Někdy lze jejich vznik alespoň částečně připisovat i termálnímu rozkladu organické hmoty, nejčastěji ropy.

Při poruše podmořských tektonických desek vlivem sopečné činnosti se uvolňují hydráty metanu, které sublimují v obrovská množství hořícího plynného metanu. Při tom se uvolňuje velké množství tepla. V místě poruchy se voda doslova „vaří“. Pokusy amerického letectva prokázaly možnou spojitost tohoto jevu s mizením lodí a letadel v oblasti Bermudského trojúhelníku. Mezi oblasti výskytu patří mělká moře, oceány, především Blake Ridge a Mexický záliv, dále některá jezera např. Kaspické moře a suchozemské oblasti - Aljaška, Sibiř. S hydráty se do budoucna počítá jako se zdrojem obrovského množství plynného metanu, který se použije na pohon vozidel. USA už plánují jeho těžbu z oblasti Mexického zálivu, ovšem zahájení těžby zatím brání ekonomický aspekt věci - těžba se nevyplatí.

*obr. 21 Hydráty metanu získané z permafrostu.
Arktická oblast, Kanada.*



Zdroj: <http://geologie.vsb.cz/loziska/loziska/energysur/hydr%C3%A1ty%20metanu.html>

5. Závěr

Základním pilířem pozemní dopravy je kolo. Od jeho vynalezení se doprava lidstva značně ulehčila. Dále se pozornost zaměřila na pohon vozů a povozů. Nejprve se používala lidská síla, posléze se začala zapřahávat zvířata. Ve středověku se zlepšovala konstrukce povozů a kočárů, například použitím pevného rámu a závěsné karoserie. Ovšem rychlost dopravy byla ještě značně nízká. Vzdálenost dnes ujetá autem za pár hodin, dostavňíkem trvala několik dní. Až v 17. a 18. století se pro pohon vozidel objevily nové možnosti a technologie, které dopravu ještě více zjednodušily. Na světlo světa přišel parní stroj, který byl považován za technický zázrak. Vlivem malé účinnosti byl rychle vytlačen spalovacími motory. Je zřejmé, že vynálezem spalovacího motoru, ať už vznětového či zážehového, započala nová dopravní éra lidstva. Následné roky vývoje, modernizace, přicházející technologie a ekonomické tlaky ze strany zákazníků (spotřebitelů) posunuly dopravu po zemi zase o pár stupňů výše.

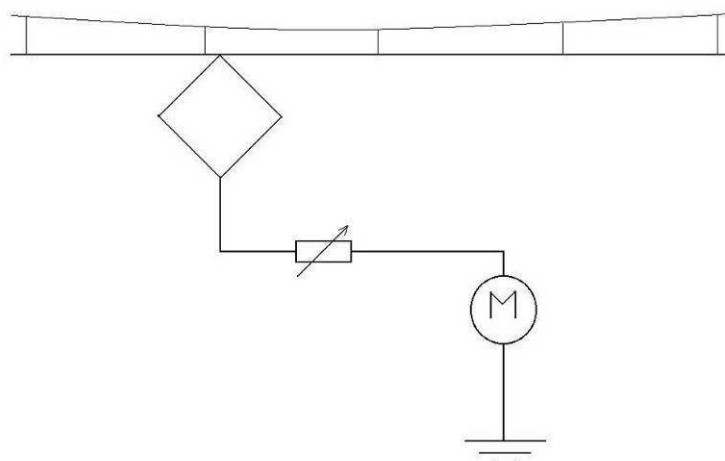
Faktem je, že světové zásoby ropy a zemního plynu nejsou nevyčerpatelné. Tenčí se každým dnem. Z odhadů vyplývá, že v rozmezí let 2050 a 2100 budou dnes známá ložiska ropy vyčerpána. Proto se pohledy světa ubírají k alternativním zdrojům energie.

Jak bude vypadat doprava lidstva za 100 nebo 1000 let? O tom se dnes hodně spekuluje, ať už ze strany výrobců automobilů, politiků, odborníků i široké veřejnosti. S tempem, kterým se vyvíjejí nové technologie ale můžeme předpokládat, že půjde o alternativní obnovitelná paliva, která umožní efektivní přepravu šetrnou k životnímu prostředí. Nyní je však ještě světová doprava pod vlivem velkých nadnárodních výrobců automobilů a ropného průmyslu, kteří lobují za své zájmy.

Získání obnovitelných zdrojů energie se stává prioritou všech vyspělých zemí světa. Ve své práci jsem se zmínil pouze o hlavních a nejvíce diskutovaných. Ve skutečnosti je téma mnohem širší, a proto bych se obnovitelným zdrojům energie pro dopravu rád více věnoval ve své diplomové práci.

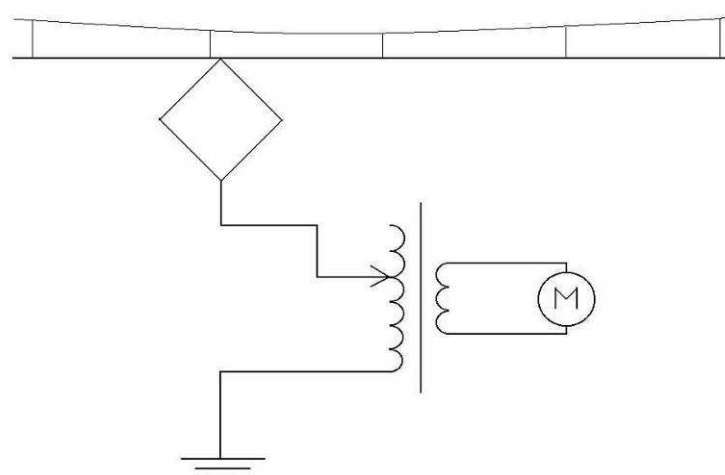
6. Přílohy

schéma 1 Stejnoseměrná lokomotiva



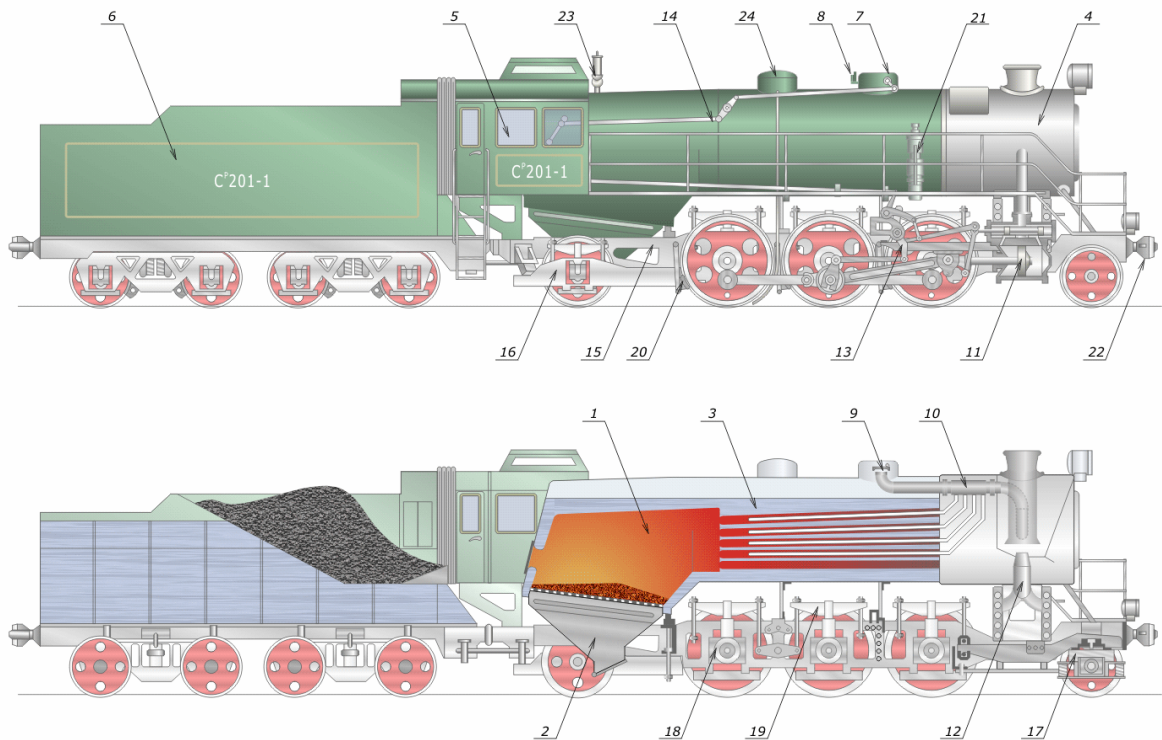
Zdroj: drahy.fd.cvut.cz/Archiv/Povalecna_elektricka_vozba.ppt

schéma 2 Střídavá lokomotiva



Zdroj: drahy.fd.cvut.cz/Archiv/Povalecna_elektricka_vozba.ppt

schéma 3 Parní lokomotiva



Zdroj: http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Steam_locomotive_scheme_new.png

- | | |
|---------------------------|--------------------------------------|
| 1. Ohniště | 13. Zařízení k distribuci páry |
| 2. Popelník | 14. Páka k ovládání páry |
| 3. Kotel | 15. Podvozek |
| 4. Komín | 16. Zadní hrana (bisel posterior) |
| 5. Kabina | 17. Čelní hrana (bisel anterior) |
| 6. Tendr | 18. Ložisko hřídele hnacího kola |
| 7. Parní dóm | 19. Ballesta |
| 8. Pojistný ventil | 20. Brzdový špalek |
| 9. Regulátor | 21. Čerpadlo pro vzduchovou brzdu |
| 10. Hlavní ohřívač páry | 22. Narážedlo |
| 11. Píst | 23. Parní píšťala |
| 12. Tryska pro odvod páry | 24. Parní regulátor nebo čistič vody |

7. Literatura

1. ADAMOVSKEÝ, Radomír, NEUBERGER, Pavel: *Termomechanika I*. Praha: ČZU TF, 2000. 85 s.
2. DOUDA, HEPTNER, KOLÁŘ: *Pozemní dopravní prostředky*. Vydavatelství ČVUT, 1996, 154 s. ISBN 80-01-01475-4
3. HALLIDAY, David, RESNICK, Robert, WALKER, Jearl: *Fyzika I: Mechanika*. 1. vyd. Brno: Vutium, Prometheus, 2000. 328 s. ISBN 80-7196-213-9
4. MACHÁČEK, Martin: *Encyklopedie fyziky*. Dotisk 1. vyd. Praha: Mladá fronta 1999. 400 s. ISBN 80-204-0237-3
5. NAHUM, Andrew, a kol. *Svět v pohybu*. 1. vyd. Praha: Euromedia Group k.s., 2002. 144 s. ISBN 80-242-0768-0
6. POHL, Rudolf, NOVOTNÝ, Ctirad. *Železniční vozidla I*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 2002. 288 s. ISBN 80-01-02622-1
7. ROUBÍK, Vladimír, SEDLÁČEK, Jan: *Fyzika – Příklady*. 1. vyd. Praha: ČZU, 2001. 151 s. ISBN 80-213-0769-2
8. TŮMA, Jan. *Velký obrazový atlas dopravy*. Praha: Artia, 1980. 495 s.
9. *Čistá elektřina – Princip solárních článků* [on-line]. [citováno 2008-1-26]. Dostupné z WWW
< <http://www.skacelsolar.cz/%C4%8C1%C3%A1nky/tabid/85/EntryID/6/Default.aspx> >.
10. *Doprava ve středověku – Území Čech* [on-line]. [citováno 2008-3-31]. Dostupné z WWW < http://www.ckrumlov.cz/cz1250/region/histor/i_doprav.htm >.
11. *Elektromagnetická indukce – Faradayův indukční zákon* [on-line]. [citováno 2008-3-28]. Dostupné z WWW
< http://lucy.troja.mff.cuni.cz/~tichy/elektross/elektrina/magnetismus/elmag_indukce/far_zak.html >.
12. *Emise automobilů – EURO 5* [on-line]. [citováno 2008-3-28]. Dostupné z WWW
< <http://www.novinky.cz/clanek/99524-otazky-kolem-emisi-ii-boj-o-limity.html> >.
13. *Enviweb – Hydráty metanu* [on-line]. [citováno 2008-2-25]. Dostupné z WWW
< http://www.enviweb.cz/?secpart=obecne_archiv_gegfj/Zvlastni_energeticka_surovina_hydraty_metanu.htm >.

14. *Historie dopravy – Dopravní prostředky* [on-line]. [citováno 2008-3-28]. Dostupné z WWW < <http://curiavitkov.cz/prace102.html> >.
15. *Hybridní pohon - Funkce* [on-line]. [citováno 2008-2-25]. Dostupné z WWW < http://cs.wikipedia.org/wiki/Hybridn%C3%AD_pohon >.
16. *Lineární spalovací motor – Princip* [citováno 2008-3-16]. Dostupné z WWW < <http://www.hybrid.cz/slovnicek/linearni-spalovaci-motor> >.
17. *Lokomotiva – Elektrická část* [on-line]. [citováno 2007-11-26]. Dostupné z WWW < <http://pkms.webzdarma.cz/elcast.html> >.
18. *MAGLEV – Princip EMS a EDS* [on-line]. [citováno 2008-2-25]. Dostupné z WWW < <http://www.gymfry.cz/zmp0405/bilcak/technologie.html> >.
19. *Osobnosti vědy – Karl Benz* [on-line]. [citováno 2008-3-28]. Dostupné z WWW < <http://www.quido.cz/osobnosti/benz.htm> >.
20. *Palivové články – Princip* [citováno 2008-3-16]. Dostupné z WWW < <http://www.hybrid.cz/slovnicek/palivove-clanky> >.
21. *Parní lokomotiva – Přehřívák páry* [on-line]. [citováno 2007-11-26]. Dostupné z WWW < <http://www.volny.cz/jelensoft/vyvoj.html> >.
22. *Tepelné motory – Parní stroj* [on-line]. [citováno 2007-11-26]. Dostupné z WWW < <http://lide.uhk.cz/pdf/student/dubisvl1/skola/Tepeln%C3%A9%20motory.htm> >.
23. *Venturi Atrolab – Solární vozidlo* [on-line]. [citováno 2008-3-16]. Dostupné z WWW < <http://www.hybrid.cz/tagy/venturi-atrolab> >.
24. *Wankelův motor – Princip* [on-line]. [citováno 2008-3-28]. Dostupné z WWW < http://cs.wikipedia.org/wiki/Wankel%C5%AFv_motor >.
25. *Zemní plyn – Plyn v dopravě* [on-line]. [citováno 2008-2-23]. Dostupné z WWW < http://www.cng.cz/cs/zemni_plyn/historie/histoire_plynu_v_doprave.html >.

8. Seznam obrázků

obr. 1 Časová osa	2
obr. 2 Síly působící při smýkání	3
obr. 3 Nerovnosti povrchů – detail	3
obr. 4 Síly působící při valení	4
obr. 5 Elektromagnetická indukce	5
obr. 6 Princip parního stroje	6
obr. 7 Čtyřdobý cyklus	7
obr. 8 Oběh zážehového spalovacího motoru v p-v a T-s diagramu	8
obr. 9 Oběh vznětového spalovacího motoru v p-v a T-s diagramu	9
obr. 10 Princip činnosti solárního článku	10
obr. 11 Parní vůz Nicholase Cugnota	12
obr. 12 Použití plynového motoru	15
obr. 13 Styky trakčních soustav v koridorech	18
obr. 14 Uspořádání pohonu u Toyoty Prius	19
obr. 15 Venturi Atrolab	21
obr. 16 Kyslíko-vodíkový palivový článek	22
obr. 17 Lineární spalovací motor	23
obr. 18 Princip „surfování“ vlaku	24
obr. 19 Princip EMS	25
obr 20. Princip EDS	25
obr. 21 Hydráty metanu získané z permafrostu.	26
schéma 1 Stejnsměrná lokomotiva	28
schéma 2 Střídavá lokomotiva	28
schéma 3 Parní lokomotiva	29