

Neschopné motory

J. Nejezchlebová*, T. Marková**

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1

* jitkanj@seznam.cz, ** markova.t@seznam.cz

Abstrakt

Cílem naší práce bylo ověření známých hodnot účinností běžných typů motorů v „domácích“ podmínkách, tedy za použití minimálního množství pomůcek a prostředků, bez podpory laboratoře. Veškerý materiál jsme sehnaly běžným obchodě a pokusy provedly doma v dílně nebo na koleji. I přes velice nízké naměřené hodnoty účinností a velké chyby měření jsme dosáhly podobných výsledků jaké známe z teorie. Naše práce může být zajímavou inspirací k domácím pokusům pro každého, kdo se zajímá o fyziku. Jistě by neměla uniknout hlavně učitelům fyziky na základních a středních školách, pro které budou naše pokusy přínosnou inspirací pro práci s žáky.

1 Úvod

První inspirací k této práci nám byl návod na sestavení zážehového motoru na fyzikálním webu Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy. Je zde popsán postup jak z běžně dostupných materiálů s minimem práce sestavit primitivní stroj fungující na principu zážehového motoru. Pokus jsme se rozhodly vyzkoušet, změřit hodnotu účinnosti takového stroje a porovnat ji se známými hodnotami. Dále jsme naši práci rozšířily o konstrukci a měření účinnosti parního stroje a reaktivního motoru. Svoje výsledky jsme pak porovnali s hodnotami účinností uvedených strojů v encyklopediích a učebnicích.

2 Parní stroj

Jako první jsme sestavily primitivní parní stroj. Parní stroj je nejstarší druh stroje přeměňující tepelnou energii na mechanickou. Jeho účinnost bývá obvykle poměrně malá, v řádu několika procent. Princip je ale velice jednoduchý, vroucí voda se přeměňuje na vodní páru, ta působí tlakem na píst a způsobuje jeho pohyb. Nejprve uvedu materiál a pomůcky k jeho výrobě, dále samotný postup výroby, vylepšení stroje, měření a vyhodnocení dat.

Materiálem na výrobu byly dvě hladké plechovky bez zpevňovacích vroubků, tetrapakový karton od nápoje, dřevěná tyčka, tavné lepidlo, drát průměru 0,5 mm a nástroj pilka na železo, nůžky, vrtačka, tavná lepicí pistole, váhy. Jako palivo pro předehřátí soustavy byl použit tuhý líh a pro měření denaturovaný líh.

Nejprve jsem (já, T. Marková) z jedné prázdné plechovky oddělila horní okraj a asi 1 cm pod nový okraj provrtala dva výfukové otvory. Tato plechovka bude válcem pístu. Z kartonu jsem vystříhla kruh ve velikosti vnitřního poloměru plechovky. Nápojový karton se už od počátku osvědčil jako výborný materiál pro svojí odolnost proti vodě i teplotám kolem bodu varu vody. V prvním modelu stroje jsem pak tavnou pistolí připevnila ke kartónovému kruhu manipulační tyčku. Píst jsem umístila do válce a dalším tavným lepidlem utěsnila nedokonalé styky pístu s válcem proti unikání par. Druhou plechovku jsem provrtala několika děrami a použila ji jako kahan.

Válec jsem naplnila vodou a celou soustavu předehřála na teplotu blízkou bodu varu. Zde však došlo k selhání stroje. Důvodem byl nevhodný materiál těsnění a upevnění manipulační tyčky, tavné lepidlo. Jeho teplota tání je, nižší než bod varu vody. Také manipulační tyčka se ukázala jako příliš těžká pro stroj s takto malou účinností. Tlak par nedosahoval dostatečných hodnot, aby zvedl píst takové hmotnosti. Vylepšený model stroje měl tedy nový píst bez těsnění a pro manipulaci s ním byl použit lehký slitinový drát. Novou soustavu jsem opět předehřála na teplotu blízkou bodu varu a umístila ji na zapálený kahan s odváženým množstvím líhu. Dalším problémem byl

Obr. 1 Parní stroj



nedostatečný přístup vzduchu k hořícímu lihu v kahanu. Musela jsem tedy provrtat více děr. Po vyladění všech problémů jsem mohla měřit výšku výstupu pístu. Jeho pohyb nebyl zcela pravidelný, často byl píst tlakem par vyvrácen a musela jsem ho vrátit do původní polohy pomocí manipulačního drátu. Proces práce stroje jsem nechala probíhat několik desítek vteřin za které jsem měřila celkový výstup pístu jako součet dílčích výstupů k výfukovým otvorům nebo do vyvrácení pístu.

Celkový naměřený výstup pístu byl 0,35 m, hmotnost pístu 0,004 kg, rozdíl hmotností lihu před a po měření, tedy spálený lih 0,004 kg. Výhřevnost denaturovaného lihu je 27,44 MJ/kg a z toho vypočteme celkovou tepelnou energii přijatou soustavou 109 760 J. Mechanická energie pohybu pístu je $E_p = mgh = 13,74 \cdot 10^{-3} \text{ J}$. Z toho účinnost procesu $\eta = E_p/E = 1,25 \cdot 10^{-7}$.

3 Zážehový motor

Další částí našeho pokusu byla výroba stroje pracujícího na principu zážehového motoru. V zážehovém motoru jsou páry paliva zažehnuty jiskrou, jejich výbuch (rozpínání zplodin) způsobuje pohyb pístu. Pro výrobu je potřeba krabička od kinofilmu, kousek prkna, tenké vodiče, závaží, jehla, hřebíky, jiskrový zapalovač na plynový sporák, jako palivo slouží opět denaturovaný lih. Na závěr také váhy, zde jsme se neobešly ani bez analytických.

Kolegyně (J. Nejezchlebová) sestrojila celý stoj doma v pokoji. Víčko krabičky od kinofilmu připevnila hřebíky k prknu a jehlou do něj prorazila dvě dírký. Těmi provlékla vodiče, které vedou proud ze zapalovače a vytvoří jiskru uvnitř uzavřené krabičky. K zapalovači jsme pak připevnila druhý konec drátů.

Obr. 2 Zážehový motor

Tento stroj funguje velice jednoduše. Stačí krabičku vypláchnout lihem a zavřít. Pak v ní zapalovačem vyrobíme jiskru. Páry lihu explodují a rozpínání krabičku oddělí a vymrští do vzduchu. Z výšky výstupu krabičky a její hmotnosti můžeme spočítat práci. I zde jsme se setkaly s drobnými konstrukčními problémy. Předně bylo velice důležité, aby byla krabička dobře uzavřena. Jinak mohou páry lihu unikat a obdobně i zplodiny, které mají způsobit pohyb. Dále musí drátky sahát do svrchní části krabičky, páry lihu jsou lehčí než vzduch a stoupají v krabičce vzhůru. Také musí být mezi drátky optimálně velká vzdálenost, tedy nesmí se dotýkat, ale nesmí být od sebe dále než cca 0,5 cm, pak už jiskra nepřeskočí.

Dalším problémem práce stroje může být i příliš studený lih, ten se odpařuje pomaleji a musíme déle čekat mezi uzavřením krabičky a zapálením par. Dále je ještě vhodné krabičku zatížit, ideálně asi 20g závažím. Pak létá do snadno měřitelných výšek kolem 2 m. vhodné je mít po ruce nádobu s vodou, v některých případech dochází ke vznícení paliva v krabičce. To se dá sice uhasit i sfouknutím, musíme být ale pohotoví a případně krabičku schladit, aby se nezačla tavit.

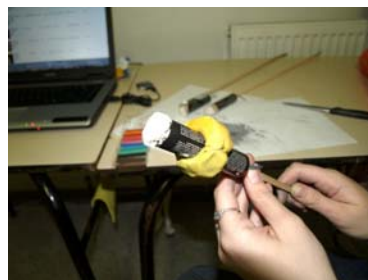
Celý experiment jsme opakovali cca desetkrát. Z naměřených výšek výstupu jsme získali průměrnou hodnotu 1,8 m. Dále bylo třeba zvážit samotnou krabičku a množství lihu, které v ní při vypláchnutí uvízlo, tedy množství paliva. To bylo průměrně 0,119 g. Z výhřevnosti lihu a hmotnosti paliva získáváme výslednou dodanou energii 3265 J. Potenciální energie krabičky v jejím nejvyšším místě výstupu je $E_p = mgh = 0,388 \text{ J}$. To je mechanická energie na kterou se tepelná energie stroje přeměnila a účinnost přeměny je zde $\eta = E_p/E = 0,19 \cdot 10^{-4}$.

4 Reaktivní motor

Posledním druhem motoru jehož účinnost jsme měřily byl motor reaktivní. Funguje, jak je patrné z názvu, na principu akce a reakce, tedy zplodiny uvolňované při hoření paliva působí na okolí silou a její reakční síla působí na raketu. Hlavní potřebu pro tento experiment můžete koupit v prosinci v každém obchodním domě, po zbytek roku ve specializovaných obchodech se zábavní pyrotechnikou, je to malá „rachejtle“. Dále jsme potřebovaly ještě závaží (zde jsme využily plastelínu), provázek, nůž a na závěr pro vyhodnocení opět váhy.

„Rachejtli“ bylo potřeba nejprve zbavit rozbušky a směsí které působí efekty. Naším cílem bylo získat jen pevný váleček střelného prachu s rozbuškou. Speciální efekty mohou explozí ukončit let rachejtle s daným množstvím paliva předčasně. Po zbavení „rachejtli“ přebytečného materiálu jsme místo po rozbuškovém prachu utěsnily plastelínou, aby

Obr. 3 Raketa



prach nemohl prohořet a tedy aby se „rachejtle“ neroztrhla. Poté jsme k „rachejtli“ přilepily provázek a připevnily závaží. Osvědčila se plastelína hlavně proto, že se dá dobře rozmístit po obvodu a tedy raketa zůstane vyvážená a letí přímo vzhůru.

Výšku výstupu jsme měřily pomocí délky provázku, který se při letu odvinul. Pokus jsme opakovaly celkem třikrát a uvedené hodnoty jsou tedy průměrem. Hmotnost letícího systému (včetně $\frac{1}{2}$ hmotnosti odvinutého provázku) byla 87,6 g, střelného prachu 9,08 g, jeho výhřevnost 2,94 MJ/kg. Průměrná výška výstupu 11,1 m, potenciální energie rakety v nejvyšším místě jejího letu je 10,82 J, uvolněná tepelná energie 26 695 J a z toho účinnost přeměny $4 \cdot 10^{-4}$.

5 Porovnání naměřených hodnot, důvody ztrát

Námi naměřené hodnoty účinností jsou velice nízké hlavně kvůli podmínkám ve kterých jsme experimenty prováděly a použitým materiálům. U parního stroje byl největší problém netěsnost pístu. V domácích podmínkách se nám však nepodařilo tento problém vyřešit. U zážehového motoru došlo k velké ztrátě energie při oddělování krabičky od víčka. Nalézt ale relativně dobře těsnící systém, který nebude mít naopak problémy s oddělením od podložky je obtížné. Tento problém by se dal vyřešit použitím např. přilnavého těsnění na okraji krabičky a hladké podložky. Nízkou účinnost u rakety můžeme přičítat např. velkému tření vzduchu o soustavu nesoucí provázek. Také nemuselo dojít k vyhoření celého objemu paliva, to bývá u „rachejtli“ poměrně častý problém. Podařilo se nám ale ověřit rozdíly mezi účinnostmi jednotlivých pohonů, tedy parní stroj má účinnost nejnižší a reaktivní motor nejvyšší.

Hodnoty účinností parního stroje uváděné v učebnicích jsou 0,05-0,15 podle použitých technologií. Účinnost našeho stroje je $1,25 \cdot 10^{-7}$. Účinnost zážehového motoru je 0,2-0,33, náš stroj dosáhl účinnosti $0,19 \cdot 10^{-4}$. Reaktivní motor podle literatury 0,5 a náš model $4 \cdot 10^{-4}$.

Poměry mezi účinnostmi nejsou stejné. To je ale zapříčiněno různými původy ztrát.

6 Závěr

Naše práce nemusí mít na první pohled přínos pro vědu samotnou, ale přinesli jsme něco oblasti popularizace vědy. Může být inspirací pro domácí pokusy pro každého se zájmem o fyziku a z vlastní zkušenosti bych naše pokusy vřele doporučila při laboratorních cvičeních na základních nebo středních školách. Takovéto „hořící a bouchající experimenty“ jsou u dětí velice populární a pomáhají jim jednoduše získávat lepší vztah k náročnému předmětu jako je fyzika.

Poděkování

Závěrem bych chtěla poděkovat kolegovi J.Zahradníkovi za půjčení dílny a pomůcek pro výrobu parního stroje, pomoc při manipulaci s rachejtlemi a také cennou inspiraci.

Reference

- [1] http://cs.wikipedia.org/wiki/Parn%C3%AD_stroj
- [2] http://cs.wikipedia.org/wiki/Z%C3%A1%C5%BEhov%C3%BD_motor
- [3] http://cs.wikipedia.org/wiki/Reaktivn%C3%AD_motor
- [4] http://cs.wikipedia.org/wiki/Raketov%C3%BD_motor
- [5] <http://fyzweb.cz/clanky/index.php?id=95>
- [6] J. Míkulčák a kol., Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy, Prometheus, Praha, 1988, str.143