



Středoškolská technika 2019

**Setkání a prezentace prací středoškolských
studentů na ČVUT**

**DIDAKTICKÁ POMŮCKA K VÝUCE FYZIKY
MODEL STIRLINGOVA MOTORU**

Anna Drozdová

Gymnázium Josefa Ressela
Olbrachtova 291, Chrudim

Anotace

DROZDOVÁ Anna, *Didaktická pomůcka k výuce fyziky-Model Stirlingova motoru*, Chrudim: Gymnázium Josefa Ressela Chrudim, 2019, 35 s., Středoškolská odborná činnost

Středoškolská odborná činnost je zaměřena na zjišťování povědomí žáků o Stirlingově motoru, jeho existenci a funkci. Dále provedení praktického seznámení žáků s tímto typem motoru formou praktické demonstrace jeho funkce v hodinách fyziky.

Klíčová slova: Stirlingův motor, didaktická pomůcka

Abstract

Drozdová Anna, Teaching Aids to Education of Physics Model of the Stirling Engine, Chrudim, Grammar school of Josef Ressel, Chrudim, 2019, 35 s., the secondary school activity.

The secondary school activity is directed to inquiryng of students' knowledge about the Stirling engine, its existence and role. The students get to know this engine through practical demonstration during the lessons of physics.

Keywords: The Stirling engine, Teaching Aids to Education of Physics

Poděkování

Děkuji touto cestou paní Mgr. Olze Pražanové, paní učitelce na GJR Chrudim, za odborné vedení při zpracování odborné práce, za umožnění statistického šetření na GJR Chrudim a za umožnění praktické demonstrace v hodinách fyziky.

Také děkuji panu Pavlovi Šafaříkovi, učiteli praktického vyučování na SPŠ Chrudim, za zapůjčení techniky a odbornou konzultaci při vlastním sestavení motoru. Též oběma konzultantům děkuji za cenné rady a připomínky.

Děkuji též panu učiteli Mgr. Richardu Weberovi za umožnění statistického šetření na ZŠ Slatiňany.

V neposlední řadě děkuji Národnímu technickému muzeu v Praze za poskytnutí součástek a tím samotné příležitosti motor sestavit.

Obsah

1. Úvod	8
2. Robert Stirling.....	8
3. Stirlingův motor	9
3.1. Historie Stirlingova motoru.....	9
3.2. Současnost Stirlingova motoru.....	9
3.3. Princip Stirlingova motoru.....	9
3.3.1. Modifikace α	11
3.3.2. Modifikace β	12
3.3.3. Modifikace γ	13
3.4. Využití.....	14
3.5. Výhody a nevýhody	14
4. Výroba motoru	15
4.1. Součástky.....	15
4.2. Rozpis součástí	21
4.3. Technický náčrt Stirlingova motoru	23
4.4. Zhotovení motorku	24
5. Statistické šetření	25
5.1. Úvod ke statistickému šetření.....	25
5.2. Dotazníkové šetření	25
5.3. Ukázka dotazníku	25
5.4. Sběr a analýza dat	26
5.5. Závěr statistického šetření	35
6. Závěr	35
7. Přílohy.....	36
8. Použité zdroje.....	37

1. Úvod

Cílem této středoškolské odborné činnosti bylo zjistit povědomí žáků GJR Chrudim a ZŠ Slatiňany o Stirlingově motoru, jeho existenci a funkci. Dále provést praktické seznámení žáků s tímto typem motoru formou praktické demonstrace jeho funkcí v hodinách fyziky.

Globálním cílem práce bylo provést osvětu o tomto ekologickém typu spalovacího motoru, který je bohužel i v době, kdy drtivá většina projektů hlásá myšlenku udržitelného rozvoje, stále opomíjeným.

2. Robert Stirling

Robert Stirling se narodil v Gloag, Methvin, Perthshire 25. října 1790. Díky svému dědovi Michaelu Stirlingovi, který se proslavil vynálezem mlátičky, se dá s jistotou tvrdit, že vlohy stát se vynálezcem byly předpokládatelné. Rodiče Roberta, Agnes Stirlingová a Patrick Stirling, měli ještě dalších sedm dětí, z nichž byl Robert třetí. Ale i přes značné sklony ke strojírenství se Robert rozhodl jít studovat na univerzitu v Edinburghu (1805-1808) latinu, řečtinu, logiku, matematiku a právo. Stejně tak učinil jeho mladší a rovněž talentovaný, bratr James Stirling, který se stal již ve 14 letech známým stavebním inženýrem. V roce 1809 se Robert Stirling zapsal na univerzitu v Glasgow, kde strávil pět semestrů. Na univerzitu v Edinburghu se opět vrátil v roce 1814 a začal studovat bohosloví. Roku 1815 byl přezkoušen presbyterstvem v Dunbartonu a shledán kompetentním kázat slovo boží. Roku 1816 byl přidělen do Laigh Kirk vévodou z Portlandu, kde se z něj stal ministr druhého církevního sboru. 27. září 1816 podal žádost o patent na horkovzdušný motor, který dnes nazýváme Stirlingovým motorem. Tento patent oficiálně zapsali 20. ledna 1817. Nedlouho poté se Robert přestěhoval do Kilmarnocku, kde se seznámil s Thomasem Mortonem, který se proslavil zdokonalením tkalcovského stavu. Oba zapálení vynálezci se brzy spřátelili a společně si zajistili prostory navržené pro jejich potřeby. V těchto prostorách se nadále věnovali vymýšlení a zdokonalování vynálezů a současně si i předávali cenné zkušenosti a poznatky. 10. června 1819 se Robert Stirling oženil s Jean Ratkinovou (dcera obchodníka s vínem Williama Ratkina). Jean Ratkinová se narodila v Kilmarnocku 27. června 1800 a stejně jako její rodiče podporovala inženýrství. Jean a Robert spolu měli sedm dětí. První syn Patrick (narozen 29. června 1820) se stal drážním inženýrem. Druhorozená dcera Jane (narozena 25. září 1821) oddala svůj život rodině. Dalším dítětem byl syn William (narozen 14. listopadu 1822), který se stal železničním inženýrem v Jižní Americe a stavebním inženýrem. Čtvrtý člen rodiny Robert (narozen 16. prosince 1824) následoval své bratry v železničním inženýrství a svou pozornost soustředil na železnice v Peru. Předposlední syn David (narozen 12. října 1828) nenásledoval své bratry a otce v inženýrství ale stal se ministrem Craigie, Ayrshire. Poslední syn James (narozen 2. října 1835) se také věnoval drážnímu inženýrství stejně jako jeho bratři Patrick, William a Robert. Nejmladší dítě dcera Agnes (narozena 22. červenec 1838) se stala umělkyní, a zároveň pečovala o rodinu. Robert zemřel v Galstonu 6. června 1878. Zanechal zde po sobě motor, jehož potenciál se projevil až později. Poprvé eleganci dynamiky motoru a jeho jednoduchost dokázal lidem až profesor McQuorne Rankine v roce 1850. Zhruba sto let poté se název Stirlingův motor začal používat díky Rolfu Meijerovi. Název tehdy označoval všechny typy rekuperačních plynových motorů s uzavřeným cyklem. Stirlingův nejdůležitější

vynález je však regenerátor neboli ekonomizér (jak přístroj nazval sám Stirling). Ekonomizér se v dnešní době používá jak u Stirlingových motorů, kde má obrovskou zásluhu na jejich účinnosti, tak i u různých průmyslových procesů za účelem odebrat teplo a ukládat ho, dokud ho nebude potřeba odevzdat zpět pracovnímu mediu.

3. Stirlingův motor

3.1. Historie Stirlingova motoru

Jedním z důvodů, proč Robert Stirling vynalezl teplovzdušný motor byla bezpečnost lidí, kteří ho používali. Většinou to byli pracovníci, kdož se pohybovali okolo parních strojů. Vzhledem k tomu, že tyto stroje byly na začátku svého vývoje, velmi často docházelo k výbuchům kotlů, které způsobovaly lidem těžké úrazy i smrt. Byl konkurencí parního stroje. Ve srovnání s parním strojem má vysokou účinnost, až 40 %, tichý chod a dokáže využít téměř libovolný zdroj tepla, např. spalování paliva, geotermální energii, jadernou energii, sluneční energii a odpadní teplo z technologických procesů. Při spalování paliva se mohou použít i skládkové plyny, které by jiné typy motorů poškodily. Do dnešní doby se technici i vědci neustále snaží tento motor zdokonalovat a vyvíjet.

První horkovzdušný motor byl postaven a zprovozněn v roce 1818 v Ayrshiru ve Skotsku. Byl použit v kamenolomu pro odčerpání vody z lomu. Další motory se použily na čerpání vody pro dobytek, na zavlažování nebo k přečerpání vody z nádrží. Tyto motory ještě neměly ekonomizér. Ekonomizér vynalezl Robert Stirling až později a dal si ho patentovat. Se svým bratrem neustále zdokonalovali konstrukci motoru. Například zvyšovali tlak v horkovzdušném motoru. Nejslabším článkem motoru byl horký válec, protože se velmi často porouchával, a tak se stával Stirlingův motor nespolehlivým. Jeho obrovskou výhodou byla však bezpečnost. Vzhledem k tomu, že docházelo průběžně i k vývoji parního stroje, konkrétně parní kotle, stával se tak parní stroj bezpečnějším a Stirlingův motor upadal v zapomnění. Další ránou byl nástup elektromotorů a spalovacích motorů. Až firma PHILIPS opět pozvedla a připomněla význam Stirlingova motoru z důvodu prosazování radiopřijímačů v oblastech bez elektrického proudu. Místo vzduchu byly válce naplněny heliem nebo vodíkem, protože mají menší molekulovou hmotnost. V roce 1968 vznikla skupina společností United Stirling, která hledala možnosti využití Stirlingova motoru pro praxi. Bohužel vše naráželo na nákladnost výroby.

3.2. Současnost Stirlingova motoru

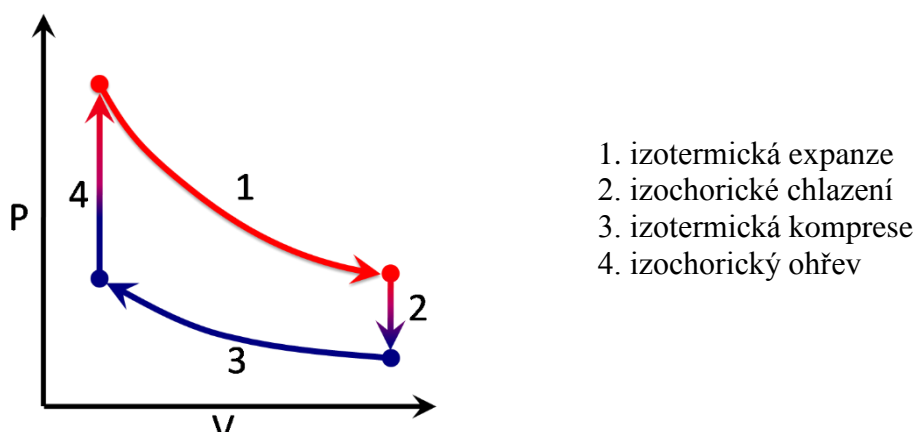
V dnešní době se samotný Stirlingův motor nevyužívá. Vždy je využíván v kombinaci výroby tepelné energie a výroby elektrické energie. O tento motor mají zájem společnosti jako např. NASA, které by princip motoru mohly využít na vesmírných stanicích pro výrobu elektrické energie.

3.3. Princip Stirlingova motoru

Stirlingův motor zařazujeme do skupiny tepelných spalovacích motorů s vnějším spalováním. Dochází zde k přeměně tepelné energie na energii mechanickou. Práce se koná změnou teploty, objemu a tlaku plynu jako pracovní látky. Tepelná energie se dodává z vnější strany motoru, ale pracovní látka se přemísťuje v uzavřeném

vnitřním systému. Podle volby způsobu přesunu pracovní látky rozlišujeme tři základní modifikace: modifikaci α , β , γ . Tyto modifikace se liší v počtu válců a pístů a jejich uspořádáním a patří mezi nejstarší modifikace. Motor pracuje na principu roztažnosti plynů. Při ohřevu plynu se jeho objem zvětšuje a při ochlazování se objem zmenšuje. Jedná se o cyklus, kde uzavřený objem vzduchu je na jedné straně ohříván a na druhé straně ochlazován. Přeháněcí píst přehání vzduch z jedné strany na druhou. Uvnitř motoru vzniká střídavě relativní přetlak i podtlak, které působí na pracovní píst. Pracovní píst je poháněn klikovou hřídelí, od níž je odvozen i pohon přeháněče. Čím větší je teplotní rozdíl teplé a studené strany pístu, tím větší je práce jednoho oběhu a tím větší je i výkon motoru.

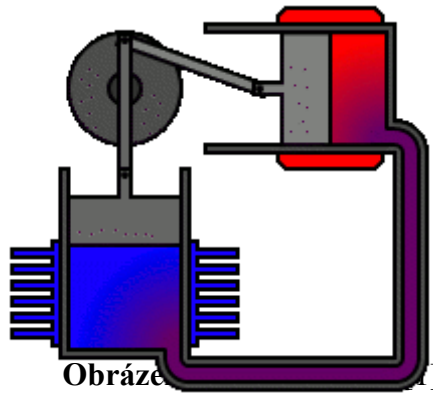
Teoretický oběh Stirlingova motoru sestává ze čtyř termodynamických dějů, které probíhají v pracovním plynu. Je tvořen dvěma izochorami a dvěma izotermami. Jeho účinnost je tak relativně vysoká, ale teplo, které se využívá na vstupu, je nízké, a proto i výkon motoru je malý.



Obrázek 1: Graf závislosti tlaku na objemu ideálního Stirlingova oběhu [2]

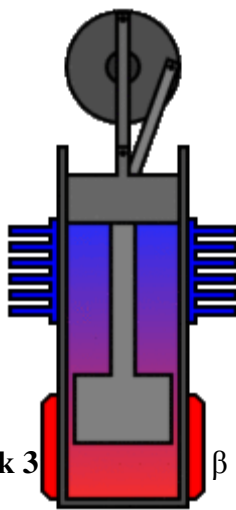
3.3.1. Modifikace α

U této modifikace je motor složen ze dvou válců a dvou pístů. Jeden válec se zahřívá, plyn zde expanduje a druhý válec se chladí, plyn se zde stlačuje. Pro funkčnost této modifikace je zde nutný velký rozdíl teplot, ale z konstrukčního hlediska nelze zabezpečit utěsnění ve válcích, zvláště v teplém válci, z důvodu vysoké teploty a mazání při vysoké teplotě, což snižuje účinnost. I přesto je tento model v praxi nejčastěji užíván. Válce jsou spojeny jednou klikovou hřídelí a ojnicím čepem, což je výhodou této modifikace.



3.3.2. Modifikace β

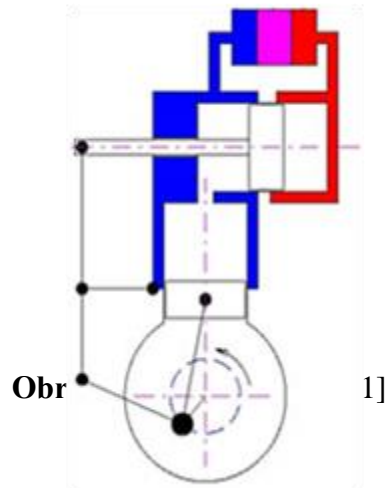
Tato modifikace se používá nejčastěji v domácích dílnách jako pomocník pro domácnost nebo jako ukázka Stirlingova motoru, což je tato didaktická pomůcka. Jedná se vždy o kusovou výrobu, a proto se v praxi téměř nepoužívá. U této modifikace je motor složen ze dvou pístů a jednoho válce. Spodní část se zahřívá a horní se chladí. Zde nejsou technické problémy s těsněním jako u modifikace alfa, ale problémem je utěsnění pístnice v pracovním pístu, která přemísťuje pracovní píst.



Obrázek 3 β [1]

3.3.3. Modifikace γ

Jedná se o modifikaci gama ve dvou válcích. Lze říci, že se jedná o jiné provedení modifikace beta. Pracovní válec je umístěn ve svém vlastním válci. Konstrukčně je jednodušší. V praxi se nepoužívá, ale mezi modely je nejpoužívanější.



3.4. Využití

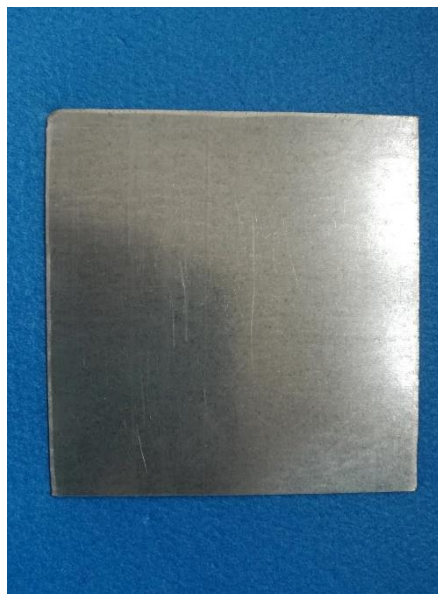
Stirlingovy motory se používají v mnoha činnostech. Například jako tepelná čerpadla, pro čerpání nebo přečerpávání vody (v lomech nebo jako zavlažovače polí v Severní Americe), kogenerační jednotky (to jsou zařízení pro kombinovanou výrobu tepla a elektrické energie), topení, chlazení, pohony motorek anebo jako součásti solárních a geotermálních elektráren. Dříve se používaly jako náhrady parních strojů a stabilních motorů pro pohon různých strojů včetně mlátiček (to zefektivnilo provoz „dědečkovy továrny“ s mlátičkami). Motor byl důležitý i na pohon drobných spotřebičů v domácnosti, například vrtaček. Někdy se dokonce pro svoji schopnost stlačit vzduch využíval v kostelích při hraní varhan. V dnešní době se uvažuje o zapracování Stirlingova motoru do kosmických lodí, kde by měl sloužit jako jeden z energetických zdrojů. Rovněž by mohl posloužit jako energetický zdroj i na mimozemských základnách. Pro využití ve vesmíru se hodí hlavně díky své schopnosti být poháněn teplem, které vytváří sluneční záření. Díky novým technologiím, propracovanějším konstrukcím a odolnějším materiálům začíná Stirlingův motor nacházet opět své uplatnění. Je také velmi perspektivní kvůli využití obnovitelných zdrojů energie.

3.5. Výhody a nevýhody

Mezi obrovské výhody Stirlingova motoru určitě patří jeho jednoduchost, z toho vyplývá, že není příliš poruchový a snadno se udržuje. Dále je to fakt, že k provozu potřebuje pouze dostatečný rozdíl mezi teplou a studenou částí. Motor nemá žádné vedlejší nebezpečné produkty (pokud je na solární pohon, je to vůbec nejlepší varianta) a není vůbec hlučný. Na to, že má vlastně ekologický pohon, má obrovskou účinnost. Je to až 40 % (u malých modelů pouze 15 %). Další ocenitelnou výhodou je, že můžeme použít jakýkoliv zdroj tepla např. odpadní teplo, geotermální teplo, solární teplo, fosilní paliva a biomasu. Dostupným je například metan, který vzniká při rozkladu chlévské mrvy. Mezi klady můžeme zařadit i vysokou životnost a vyšší účinnost, než mají solární články. Motor sice působí jako dokonalý mechanismus, přesto má i nevýhody. Mezi ně patří například to, že výroba součástek musí být velice pečlivá a všechny spoje na motoru musí být perfektně utěsněny. Aby mohly být tyto podmínky splněny, požádala jsem o pomoc specializované pracoviště na Strojní průmyslové škole v Chrudimi. Dalším problémem je přenos tepla od teplé části ke studené. Studená část se totiž po určité době zahřeje a stroj přestane vykonávat práci. Při mých experimentech tato situace nenastala, ale je zdokumentována v jiných zdrojích. Stroje předurčené pro delší provoz musí být z uvedených důvodů zhotoveny z materiálů špatně vedoucích teplo, a především musí být zajištěno jejich ochlazování. Důvod, proč většina lidí nezná Stirlingův motor, zapříčiňuje další jeho dost podstatná nevýhoda a to ta, že je sice jednoduchý, ale k dosažení stejného výkonu, jaký mají ostatní motory, musí mít veliké rozměry, které se na běžné používání nehodí. A to je důvod, proč ho běžně nevidáme. Hodí se totiž pouze na práci, kde jeho rozměry nikomu nevadí.

4. Výroba motoru

4.1. Součástky



Obrázek 5: Základní



Obrázek 6: Válec a píst



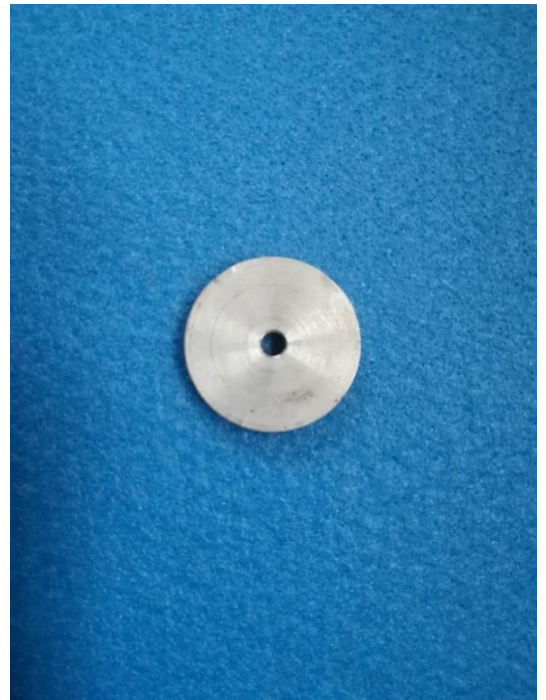
Obrázek 7: Pístní čep-nýt



Obrázek 8: Oko pístu



Obrázek 9: Ojnice pístu



Obrázek 10: Klička pístu

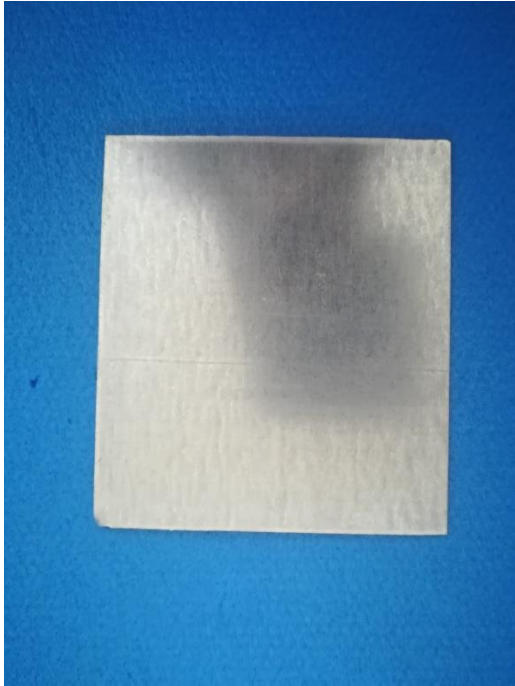


Obrázek 11: Klikový čep-

✓ 1



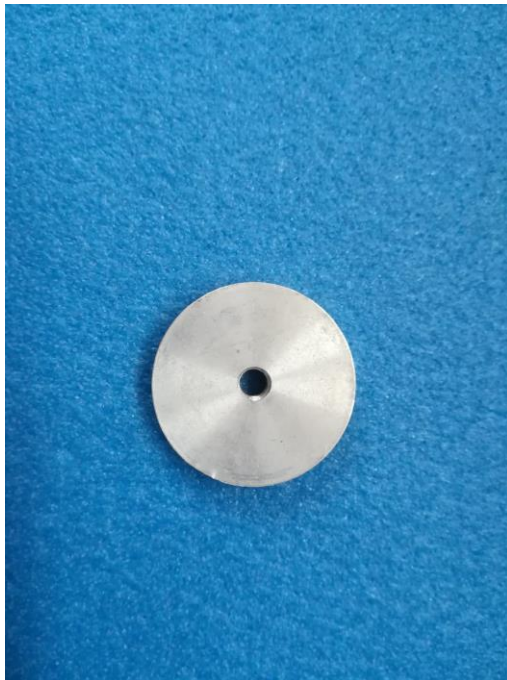
Obrázek 12: Náboj



Obrázek 13: Setrvačnick



Obrázek 14: Ložisko SKF



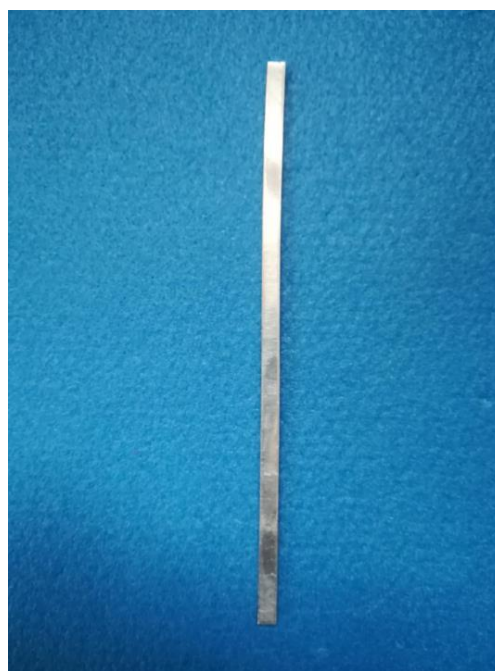
Obrázek 15: Klika přehaněče



Obrázek 16: Hřídél



Obrázek 17: Stojan



Obrázek 18: Ojnice přehaněče



Obrázek 19: Oko přehaněče



Obrázek 20: Čep přehaněče-nýt



Obrázek 21: Vodítko



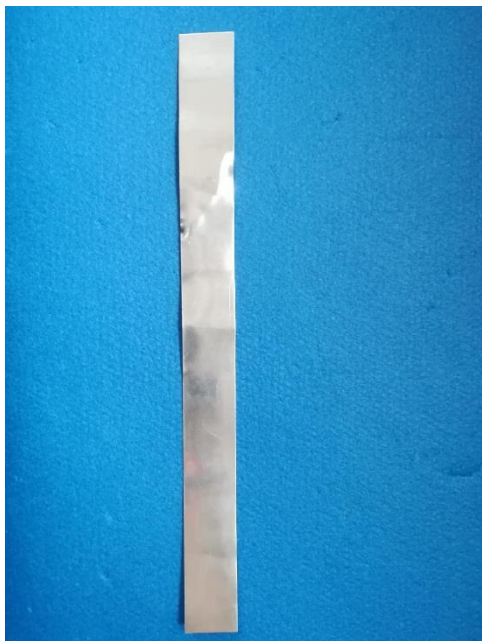
Obrázek 22: Matice



Obrázek 23: Šroubový drát



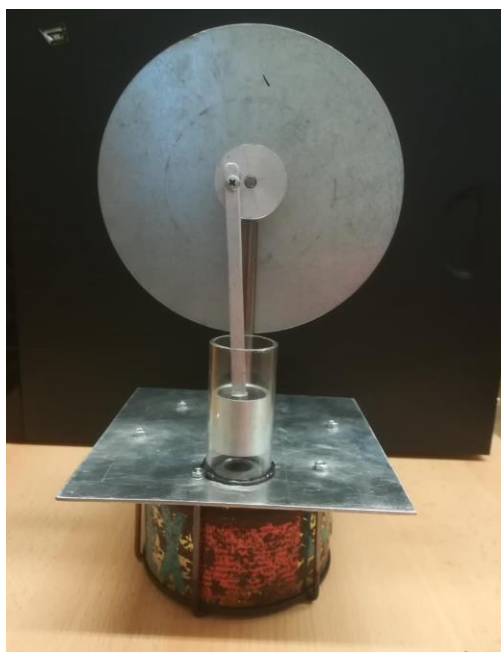
Obrázek 24: Matice



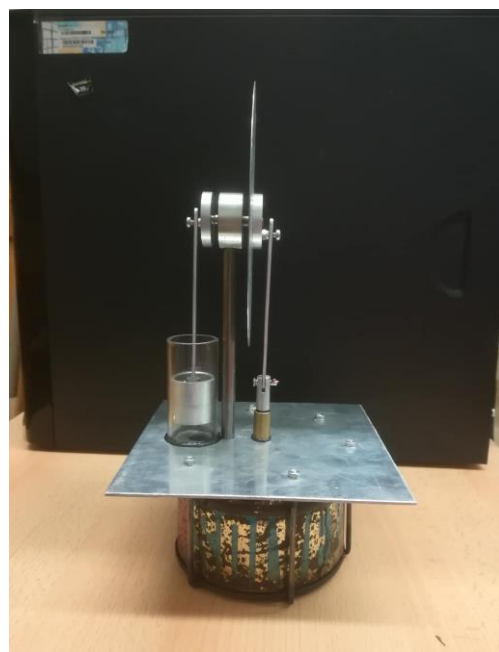
Obrázek 25: Přehaněč-plech



Obrázek 26: Pístní tyč



Obrázek 27: Pohled na motor z boku



Obrázek 28: Pohled na motor zepředu

4.2. Rozpis součástek

Hodnota materiálu součástí jedné soupravy činí 500Kč.

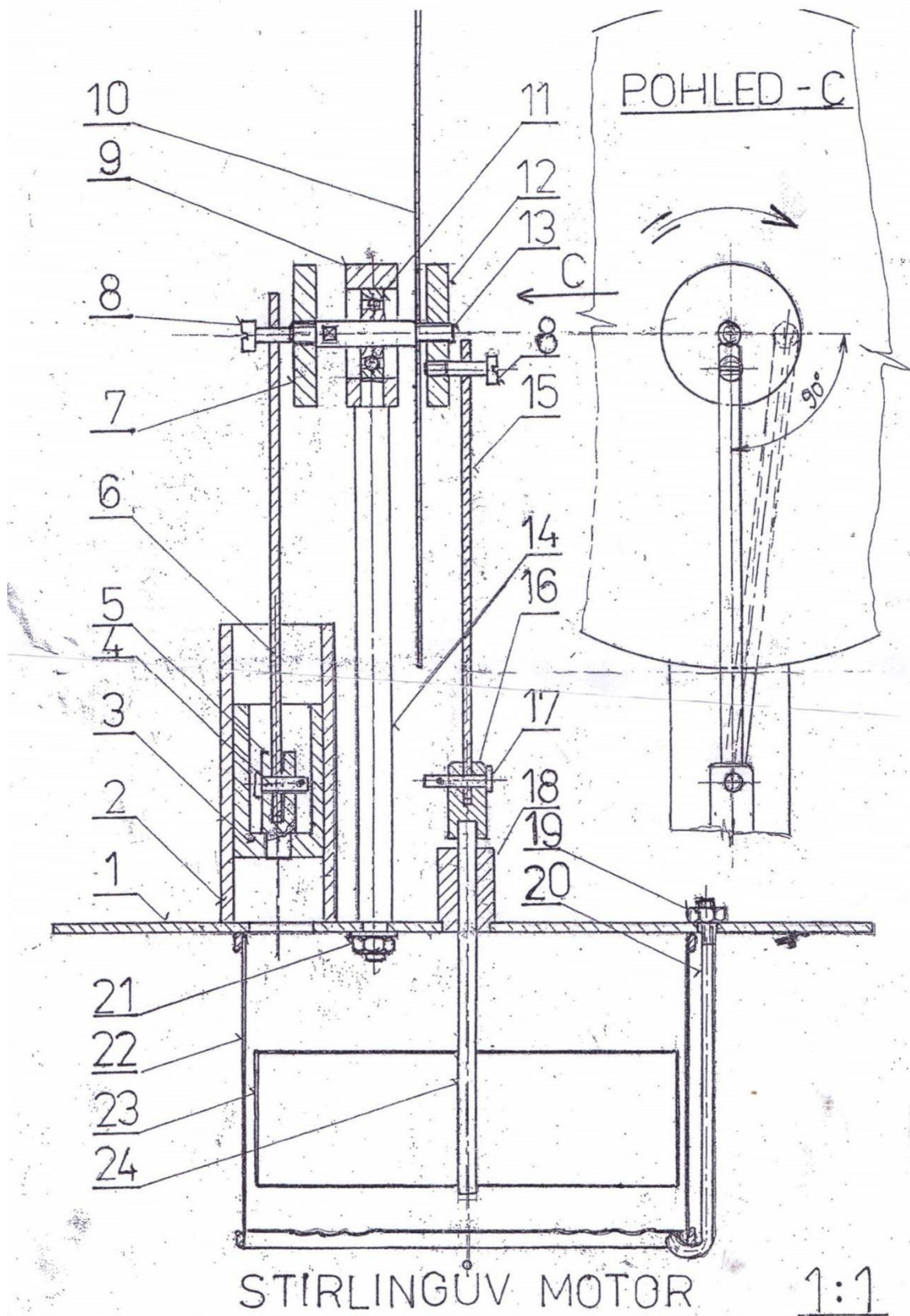
Č.	NÁZEV, ROZMĚR	MATERIÁL	P.K.
1	Základní deska pl 2 x 143 x 143 EN AW-5u754	hliník	1
2	Válec d 28 x 2 x 65	sklo	1
3	Píst d 24 x 34 EN AW-2030 T3	dural	1
4	Pístní čep – nýt d 3 x 20 ČSN 02 2301.8	hliník	1
5	Oko pístu d 8 x 22 EN AW-2030 T3	dural	1
6	Ojnice pístu – pl 2 x 5,5 x 112 EN-AW-5u754	dural	1
7	Klika pístu d 30 x 5 EN AW-2030 T3	dural	1
8	Klikový čep – šroub M3 x 20 ČSN 02 1131.2	mosaz	2
9	Náboj d 30 x 12 EN AW-2030 T3	dural	1
10	Setrvačnick d 140 x 0,5 CSN 42 5301.1	ocel	1
11	Ložisko SKF 626	-	2
12	Klika přehaněče d 30 x 6 EN AW-2030 T3	dural	1
13	Hřídel d 6 x x36 ČSN 42 5510.1	ocel	1
14	Stojan d 8 x 120 ČSN 42 5510.1	ocel	1
15	Ojnice přehaněče pl 2 x 5,5 x 112 EN AW-5u754 , H22	dural	1
16	Oko přehaněče d 8 x 20 EN AW-2030 T3	Dural	1
17	Čep přehaněče – nýt d 3 x 20 ČSN 02 2301.8	hliník	1
18	Vodíto d 12 x x20 ČSN 42 5510	ocel	1
19	Matice M3 ČSN 02 1401	ocel	6
20	Šroub. Drát d3x83 – ČSN 42 6403	ocel	6
21	Matice M6 ČSN 02 1403	ocel	1
22	Komora (konzerva) d100x66	ocel	1
23	100x100 Přehaněč – plech 0,5x334 EN AW – 5u754 H22	hliník	2 1
24	Pístní tyč d4x85	hliník	1

25	Nýt d 2 x 5	Carbonové vlákno	1
----	-------------	------------------	---

Tabulka 1. Rozpis dílů

V sadě přibyla součástka č. 25 pro spojení obvodu přeháněcího pístu.

4.3. Technický nákres Stirlingova motoru



Obrázek 29: Technický výkres – zadání práce

4.4. Zhotovení motorku

Motorek je sestaven podle technického nákresu, přiloženého k práci. Všechny lepené spoje jsou slepeny dvousložkovým epoxidovým lepidlem. Na hřídeli (13) jsou pro lepší manipulaci vypilovány dvě plošky proti sobě. Z kousku plechu je pak vypilován malý klíček (dílnská velikost #5,5mm). Kvůli tuhému nastavení úhlu klik 90° je závit v klikách vyroben pouze druhým stupněm závitníku M5. Pro zvýšení tuhosti je vložena mezi pozici 12 a 10 podložka. Pro různé nastavení zdvihů je vyrobeno několik děr se závity pro klikové čepy (8) a jejich nastavení je dáno podle situace vhodnou kombinací. Drážky pro ojnici (15) v pozici 5 a 16 jsou proříznuty pilou a vypilovány jehlovým pilníkem. Čep 4 a 17 je pojištěn. Píst (3) se pohybuje ve skleněném válci (2) s malou vůlí, který je vyplněn dobrým motorovým olejem. Komora (22) je vyrobena z konzervy o velikosti $\varnothing 100 \times 66$. Na rovné desce je pro těsnost nejprve zabroušena smirkovým papírem. Pro vypracování přeháněcího pístu (2) se nejprve na zkružovačce zkroužil obvod tak, aby vůle mezi přeháněčem a komorou byla asi 1–2 mm. Pro vystřížení čela se použily krejčovské nůžky. Díry jsou svrtány. Díra ve vodítku (18) je vystružena $\varnothing 4$ H8. Pístní tyč se pohybuje s minimálním třením a je dotěsněna olejem. Na sedmi místech je použit na namazání kvalitní motorový olej, a to kvůli teplotě na vodítku (18) a pístu (3). Setrvačnick musí být vystředěný. Kvůli měření otáček je použita nereflexní úpravu jedné strany. Klikové mechanismy jsou vyváženy. Ložisko (11) je zakápnuto lepidlem, k náboji (9), k hřídeli (13) se lepidlo zakápnulo až nakonec. Po celou dobu práce a montáže je nutno dodržovat kolmost.

Na činnost motorku mají vliv:

- ♦ poloměr kliky přeháněče (12)
- ♦ poloměr kliky pístu (7)
- ♦ délka ojnice přeháněče (15)
- ♦ délka ojnice pístu (6)
- ♦ součinitelé tření, které zmenšíme vhodným výběrem oleje
- ♦ průměr a výška přeháněče a z toho vyplývající vůle mezi přeháněčem a stěnou komory
- ♦ vibrace, které omezíme přesností výroby a vyvažováním
- ♦ chlazení základové desky, kde dochází k přestupu tepla prouděním i sáláním
- ♦ ohřev komory, kde dochází k přestupu tepla

5. Statistické šetření

5.1. Úvod ke statistickému šetření

Hlavním cílem statistického šetření bylo zpracování a analýza získaných dat, týkajících se povědomí o Stirlingově motoru. Smyslem genderově vyváženého dotazování nebylo zjišťovat rozdíly v povědomí o Stirlingově motoru mezi chlapci a dívkami, ale pouze globální výsledky.

Použitá metoda zjišťování dat: dotazování

Použitá forma dotazování: písemné dotazování (dotazník)

Tazatel: vyučující fyziky

Respondenti: žáci osmé a deváté třídy ZŠ, žáci čtvrtého ročníku osmiletého gymnázia, žáci druhého a třetího ročníku čtyřletého gymnázia

Termín konání statistického šetření: od 4. 3. 2019 do 8. 3. 2019

Místo dotazování: ZŠ Slatiňany, GJR Chrudim

5.2. Dotazníkové šetření

Informace byly autorkou práce získány dotazováním a vyplněním odpovědí v dotazníku. Dotazníky byly rozdány vyučujícími fyziky, kteří dle instrukcí autorky práce seznámili respondenty s účelem statistického šetření a poučili je o způsobu vyplnění dotazníku a GDPR. Návratnost dotazníků byla stoprocentní. V úvodu dotazníku je objasněno, za jakým účelem a pro koho je dotazník vytvořen.

5.3. Ukázka dotazníku

VARIANTA A

Dotazník ke zjištění povědomí žáků osmé a deváté třídy ZŠ o Stirlingově motoru. Výsledky tohoto šetření slouží pouze jako podklad pro vypracování projektu středoškolské odborné činnosti, data respondentů podléhají ochraně v souladu se zákonem o ochraně osobních dat a pravidly GDPR.

- | | | |
|---|------------|-----------|
| 1. Slyšel/slyšela jsi někdy o Stirlingově motoru? | ANO | NE |
| 2. Pokud jsi na první otázku odpověděl/odpověděla ANO, víš, na jakém principu pracuje? | ANO | NE |

Děkuji Vám za čas věnovaný zodpovězení otázek.

VARIANTA B

Dotazník ke zjištění povědomí žáků čtvrtého ročníku osmiletého gymnázia o Stirlingově motoru. Výsledky tohoto šetření slouží pouze jako podklad pro vypracování projektu středoškolské odborné činnosti, data respondentů podléhají ochraně v souladu se zákonem o ochraně osobních dat a pravidly GDPR.

- | | | |
|---|------------|-----------|
| 1. Slyšel/slyšela jsi někdy o Stirlingově motoru? | ANO | NE |
| 2. Pokud jsi na první otázku odpověděl/odpověděla ANO, víš, na jakém principu pracuje? | ANO | NE |

Děkuji Vám za čas věnovaný zodpovězení otázek.

VARIANTA C

Dotazník ke zjištění povědomí žáků čtyřletého gymnázia o Stirlingově motoru. Výsledky tohoto šetření slouží pouze jako podklad pro vypracování projektu středoškolské odborné činnosti, data respondentů podléhají ochraně v souladu se zákonem o ochraně osobních dat a pravidly GDPR.

1. Slyšel/slyšela jsi někdy o Stirlingově motoru? ANO NE
2. Pokud jsi na první otázku odpověděl/odpověděla ANO, víš, na jakém principu pracuje? ANO NE

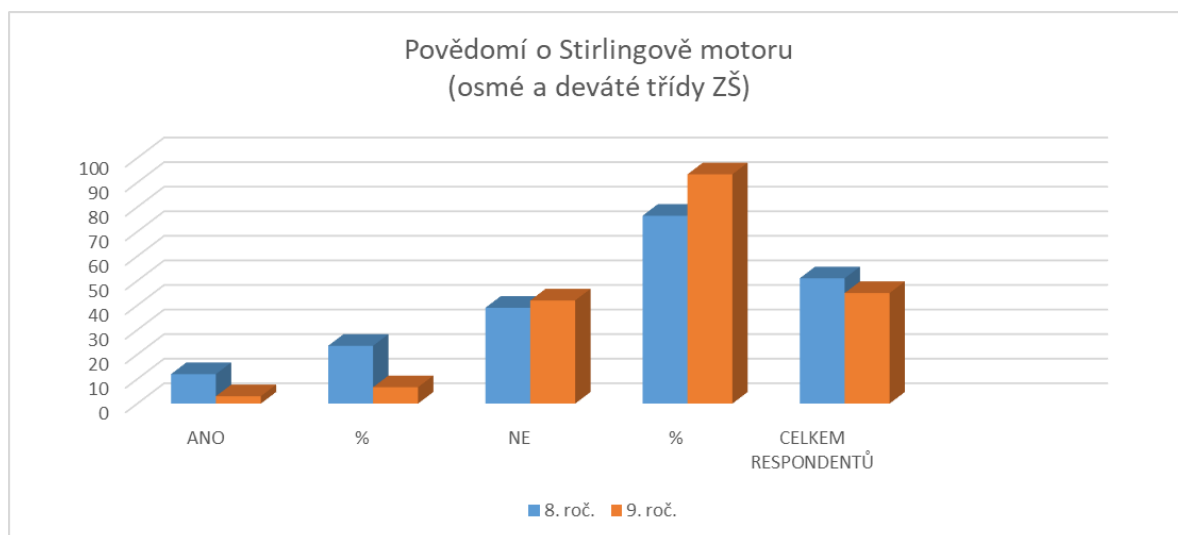
Děkuji Vám za čas věnovaný zodpovězení otázek.

5.4. Sběr a analýza dat

Formou dotazníků, které byly adresovány žákům osmých a devátých tříd základní školy Slatiňany, čtvrtého ročníku osmiletého gymnázia v Chrudimi a žákům čtyřletého gymnázia v Chrudimi, jsem získala data potřebná k šetření. Počet dotazovaných respondentů uvádím v tabulce stejně jako výsledky šetření.

	ANO	%	NE	%	CELKEM RESPONDENTŮ
8. roč.	12	23,53	39	76,47	51
9. roč.	3	6,67	42	93,33	45

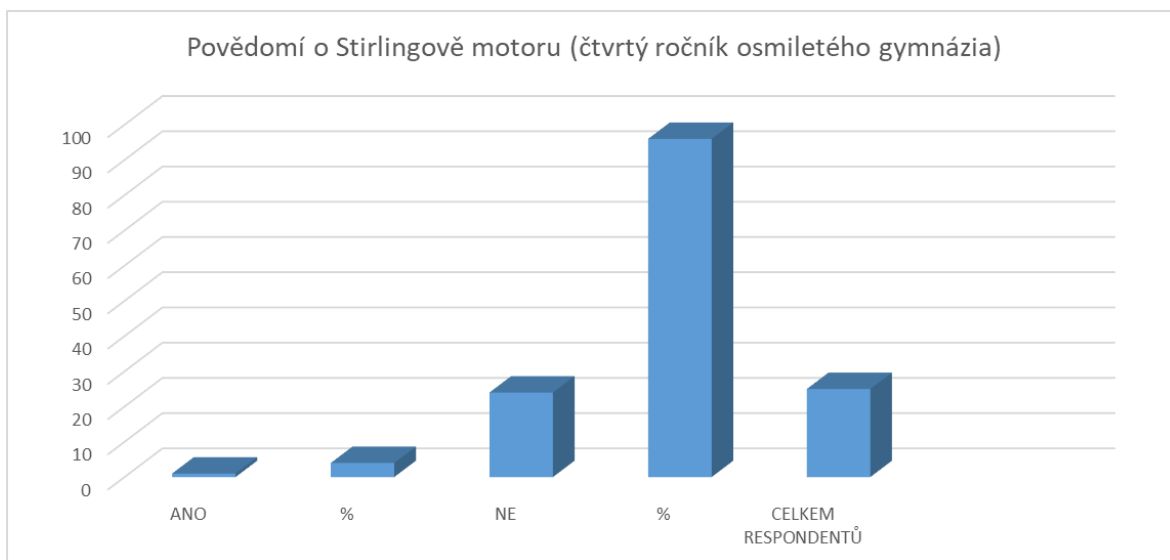
Tabulka 1. Povědomí o Stirlingově motoru (osmé a deváté třídy ZŠ)



Graf 1. Povědomí o Stirlingově motoru (osmé a deváté třídy ZŠ)

	ANO	%	NE	%	CELKEM RESPONDENTŮ
4. roč.	1	4,00	24	96,00	25

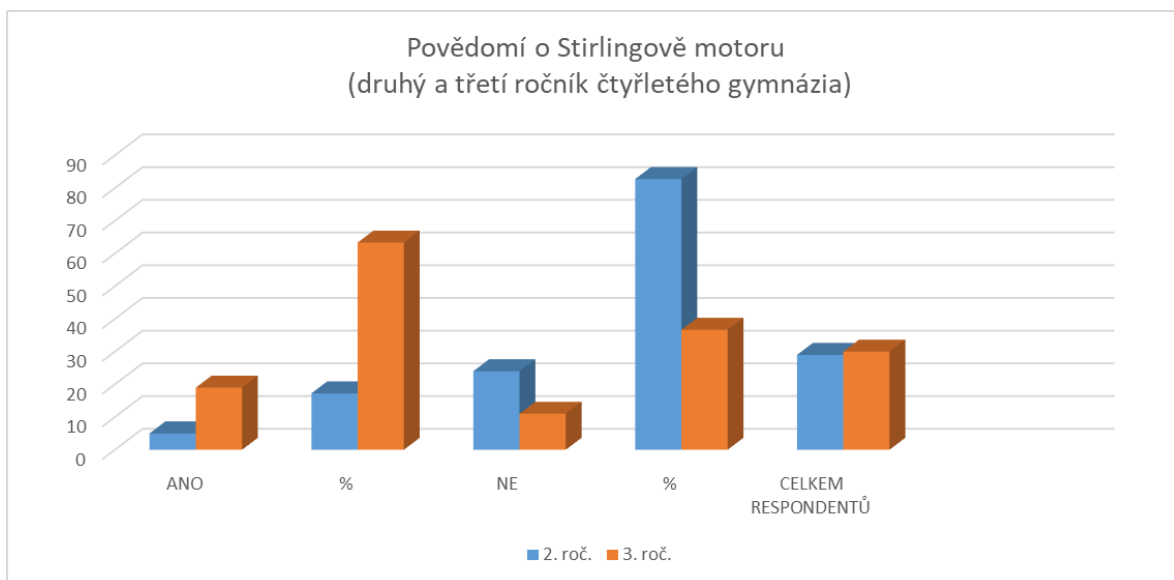
Tabulka 2. Povědomí o Stirlingově motoru (čtvrtý ročník osmiletého gymnázia)



Graf 2. Povědomí o Stirlingově motoru (čtvrtý ročník osmiletého gymnázia)

	ANO	%	NE	%	CELKEM RESPONDENTŮ
2. roč.	5	17,24	24	82,76	29
3. roč.	19	63,33	11	36,67	30

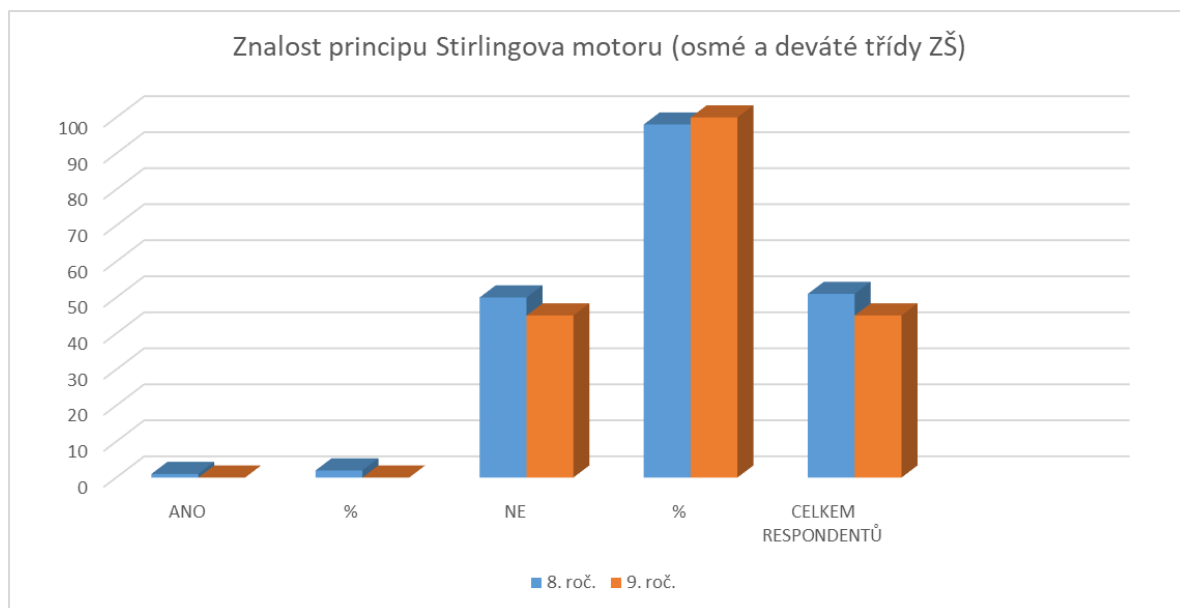
Tabulka 3. Povědomí o Stirlingově motoru (druhý a třetí ročník čtyřletého gymnázia)



Graf 3. Povědomí o Stirlingově motoru (druhý a třetí ročník čtyřletého gymnázia)

	ANO	%	NE	%	CELKEM RESPONDENTŮ
8. roč.	1	1,96	50	98,04	51
9. roč.	0	0,00	45	100,00	45

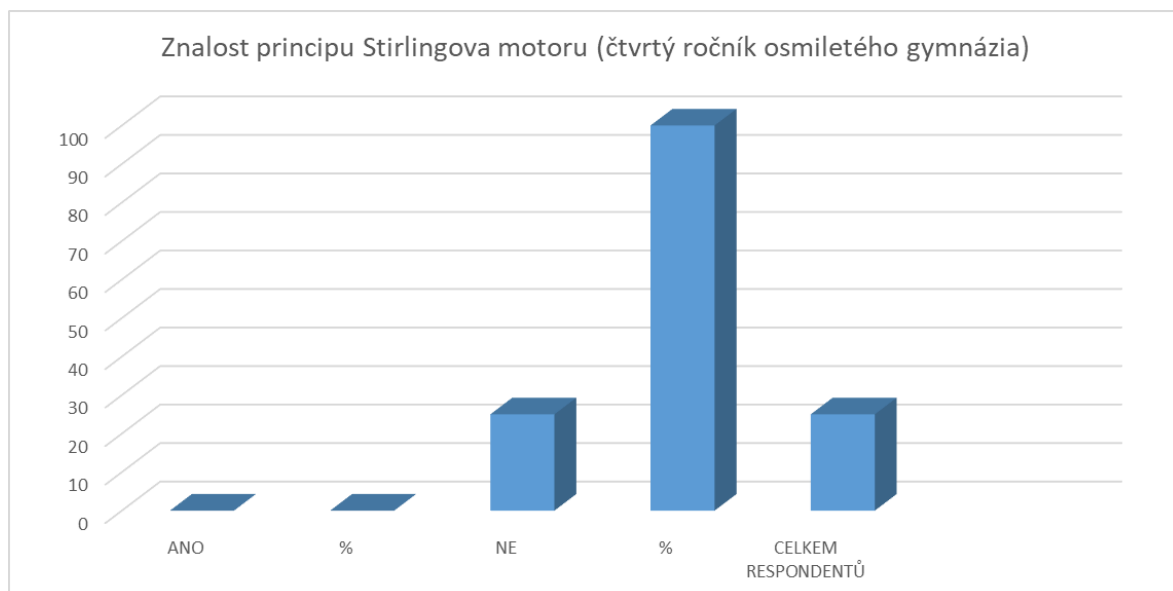
Tabulka 4. Znalost principu Stirlingova motoru (osmé a deváté třídy ZŠ)



Graf 4. Znalost principu Stirlingova motoru (osmé a deváté třídy ZŠ)

	ANO	%	NE	%	CELKEM RESPONDENTŮ
4. roč.	0	0,00	25	100,00	25

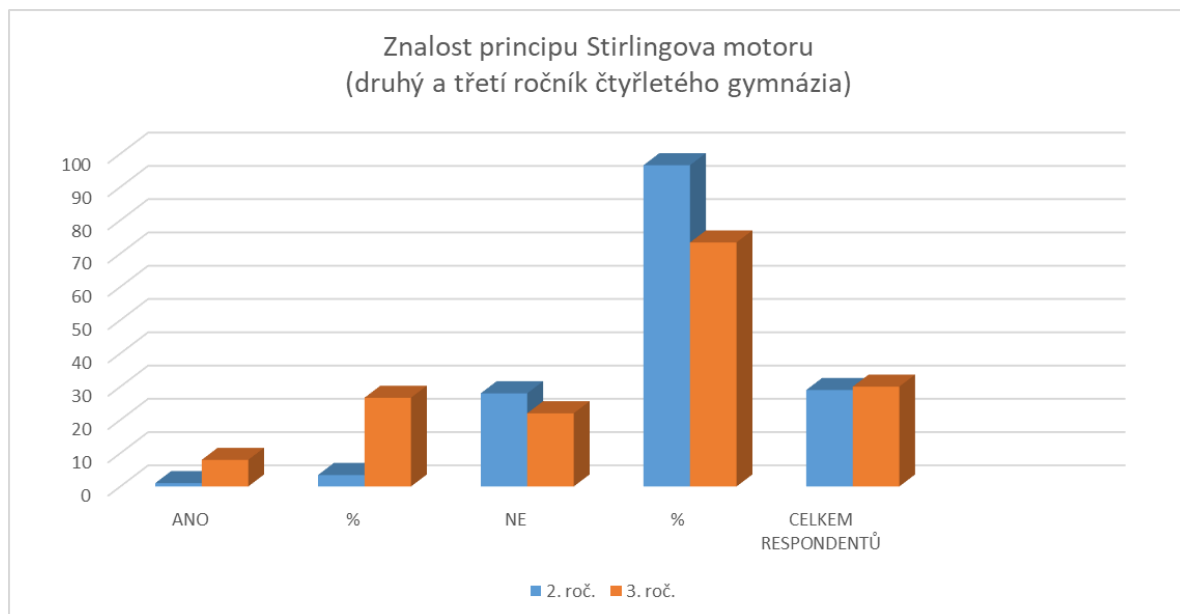
Tabulka 5. Znalost principu Stirlingova motoru (čtvrtý ročník osmiletého gymnázia)



Graf 5. Znalost principu Stirlingova motoru (čtvrtý ročník osmiletého gymnázia)

	ANO	%	NE	%	CELKEM RESPONDENTŮ
2. roč.	1	3,45	28	96,55	29
3. roč.	8	26,67	22	73,33	30

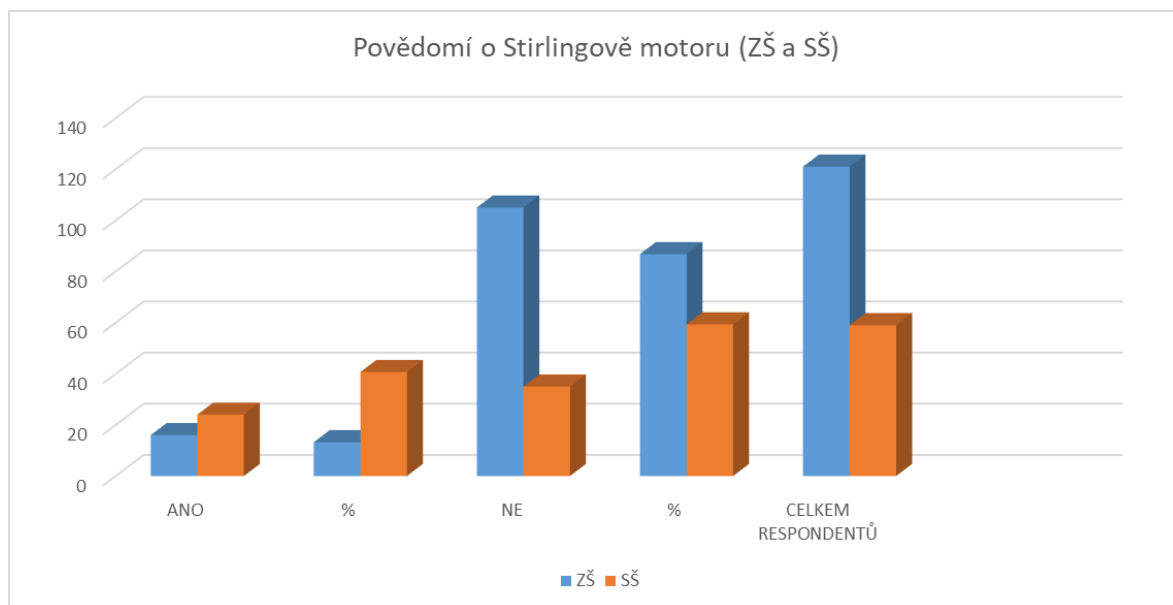
Tabulka 6. Znalost principu Stirlingova motoru (druhý a třetí ročník čtyřletého gymnázia)



Graf 6. Znalost principu Stirlingova motoru (druhý a třetí ročník čtyřletého gymnázia)

	ANO	%	NE	%	CELKEM RESPONDENTŮ
ZŠ	16	13,22	105	86,78	121
SŠ	24	40,68	35	59,32	59

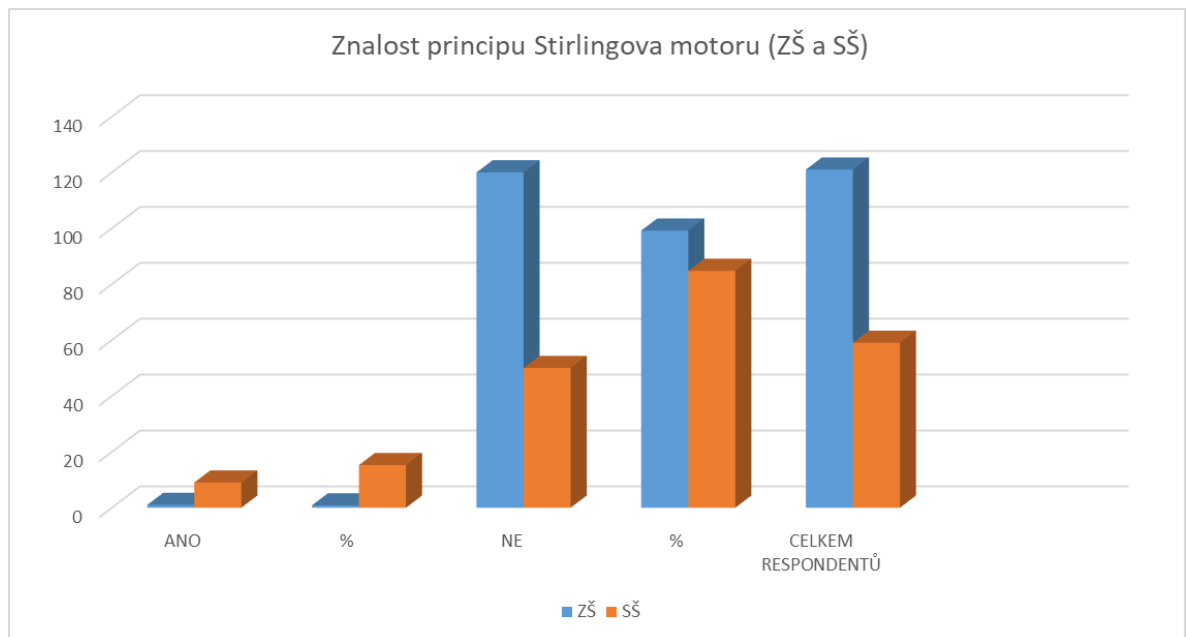
Tabulka 7. Povědomí o Stirlingově motoru všech dotazovaných



Graf 7. Povědomí o Stirlingově motoru všech dotazovaných

	ANO	%	NE	%	CELKEM RESPONDENTŮ
ZŠ	1	0,83	120	99,17	121
SŠ	9	15,25	50	84,75	59

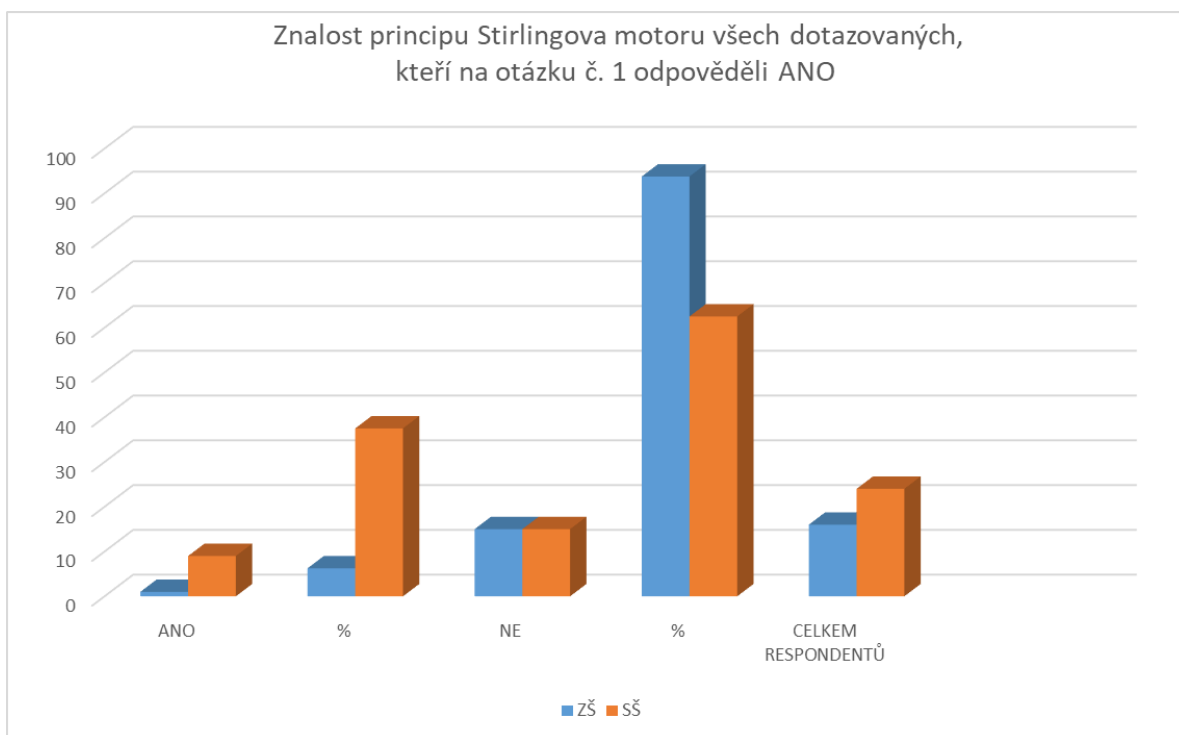
Tabulka 8. Znalost principu Stirlingova motoru všech dotazovaných



Graf 8. Znalost principu Stirlingova motoru všech dotazovaných

	ANO	%	NE	%	CELKEM RESPONDENTŮ
ZŠ	1	6,25	15	93,75	16
SŠ	9	37,50	15	62,50	24

Tabulka 9. Znalost principu Stirlingova motoru všech dotazovaných, kteří na otázku č. 1 odpověděli ANO



Graf 9. Znalost principu Stirlingova motoru respondentů, kteří na otázku č. 1 odpověděli ANO

5.5. Závěr statistického šetření

Dotazováním bylo zjištěno, že v devátém ročníku sledované základní školy slyšelo o Stirlingově motoru 6,67 % respondentů, přičemž ve čtvrtém ročníku sledovaného osmiletého gymnázia to byla 4 % dotázaných žáků. Rozdíl v obecném povědomí o existenci tohoto typu motoru je tedy cca 1,67krát vyšší v rámci stejné věkové skupiny u žáků základní školy, přičemž žádný z žáků této věkové kategorie není obeznámen s principem činnosti Stirlingova motoru.

V dotazování rozšířeném na základní škole o žáky osmého ročníku bylo zjištěno povědomí o existenci Stirlingova motoru u 13,22 % respondentů základní školy a odpovídajících ročníků osmiletého gymnázia, přičemž v šetření provedeném ve druhých a třetích ročnících čtyřletého gymnázia to bylo 40,68 % dotázaných žáků, což je cca 3,08krát více než u žáků osmých a devátých tříd základní školy a odpovídajících ročníků osmiletého gymnázia.

Z výše uvedených skutečností vyplývá zřejmý nárůst informovanosti žáků s dokončením vyššího postupného ročníku vzdělávání. Tyto výsledky doporučuji podrobit dalšímu podrobnému šetření. Navrhovala bych, aby např. následné dotazníkové šetření bylo doplněno o otázky umožňující alespoň částečné ověření míry pravdivosti v odpovědi žáků, např. zařazením dodatečné otázky určené žákům, kteří odpověděli, že znají princip fungování Stirlingova motoru formou výčtu možností s dodatkem umožňujícím uvést i jinou možnost. Z šetření nepřímo vyplynulo relativně vysoké povědomí o existenci Stirlingova motoru u žáků osmého ročníku sledované základní školy.

Z respondentů, kteří na základní škole a odpovídajících ročníků osmiletého gymnázia odpověděli, že slyšeli o Stirlingově motoru, pouze 6,25 % (1 žák osmé třídy ZŠ) uvedl, že je obeznámen s principem fungování Stirlingova motoru. U žáků druhých a třetích ročníků čtyřletého gymnázia to bylo 37,5 % dotázaných, což je 6krát více, i zde je tedy jasně patrný nárůst informovanosti žáků s dokončením vyššího postupného ročníku vzdělávání. Úplným závěrem statistického šetření lze konstatovat velmi nízkou míru informovanosti žáků o ekologicky nenáročném, k životnímu prostředí šetrném, a tudíž pro udržitelný rozvoj vhodném Stirlingově motoru.

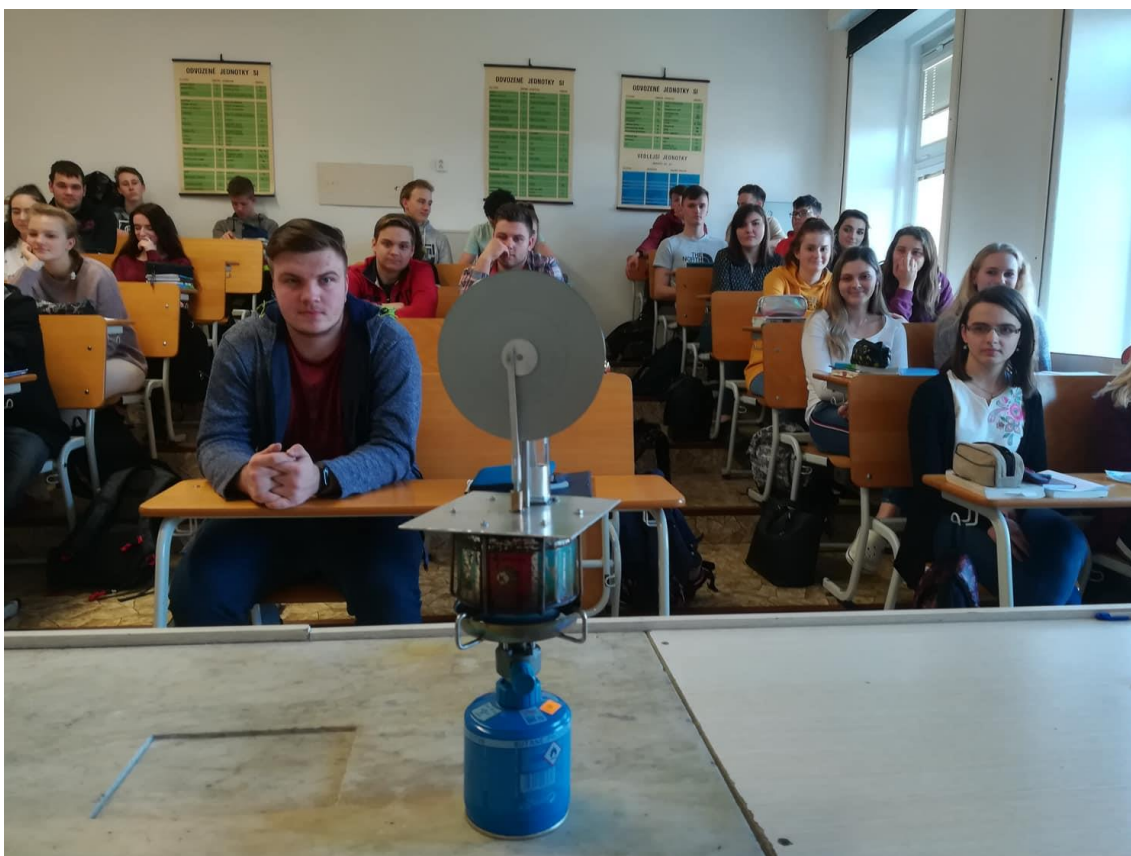
6. Závěr

Všech cílů práce bylo dosaženo, když:

1. bylo provedeno rozsáhlé statistické šetření zaměřené na povědomí žáků základní školy, osmiletého a čtyřletého gymnázia o existenci Stirlingova motoru a principu jeho fungování (výsledky viz výše),
2. byli v hodinách fyziky žáci druhého a třetího ročníku čtyřletého gymnázia seznámeni se Stirlingovým motorem formou praktické demonstrace jeho funkcí doplněné o vysvětlení jeho ekologických aspektů (viz příloha)

Doporučuji, jak již bylo výše uvedeno, provést následné statistické šetření, případně šetření výrazně rozsáhlejší, do něhož by se zapojilo více škol, a zejména provést větší osvětu při seznamování se Stirlingovým motorem na základních a středních školách.

7. Přílohy



Obrázek 30: Učební pomůcka v praxi



Obrázek 31: Učíme se s motorem

8. Použité zdroje

[I] WALKER, G. *Stirling-cycles machines*. Great Britain : Oxford University Press, 1973. ISBN 80-2142029-4.

[II] ŠKORPÍK, Jiří. *Stirlingův motor, Transformační technologie*, Brno, 2009-06, [last updated 2013-03]. ŠKORPÍK, Jiří. [on-line] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z URL: <http://www.transformacni-technologie.cz/stirlinguv-motor.html>.

[III] ŠKORPÍK, Jiří. *Ztráty ve Stirlingových motorech, Transformační technologie*, Brno, 2009 - 07, [date of last update 2012-10] [cit. 2013-04-02]. ŠKORPÍK, Jiří. [on-line] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z URL: <http://www.transformacnitechnologie.cz/ztraty-ve-stirlingovych-motorech.html>.

[IV] ŠKORPÍK, Jiří. *Oběh Stirlingova motoru, Transformační technologie*, Brno, 2009 - 07, [date of last update 2012-01] [cit. 2013-04-02]. ŠKORPÍK, Jiří. [online] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z URL: <http://www.transformacni-technologie.cz/obehstirlingova-motoru.html>.

[VI] HALLIDAY, David, RESNICK, Robert, WALKER, Jearl. *Fyzika, část 2, Mechanika – termodynamika*, 1. vydání, Vysoké učení technické v Brně, VUTIUUM, 2000

[VII] použití obrázků: <http://stirlingmotor.cz/princip.html>

[VIII] použití obrázku: https://cs.wikipedia.org/wiki/Stirling%C5%AFv_motor

[IX] <http://www.robertstirlingengine.com/history.php>

[X] <https://www.britannica.com/biography/Robert-Stirling>

[XI] Obrázek 5 až 28: foto autora, obrázek 29 NTM Praha, obrázek 30 až 31: foto autora