



Středoškolská technika 2023

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

PARNÍ STROJOVNA PRO MODEL PAROLODĚ

Jiří Lüftner

**Střední průmyslová škola strojnická a Střední odborná škola profesora Švejcara, Plzeň,
Klatovská 109, 301 00**

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor č. 9: Strojírenství, hutnictví a doprava

Parní strojovna pro model parolodě

Steam engine room for a steamboat model

Autor: Jiří Lüftner

Škola: Střední průmyslová škola strojnická a Střední odborná škola profesora Švejcara,
Plzeň, Klatovská 109, 301 00 Plzeň

Kraj: Plzeňský kraj

Konzultant: Ing. Josef Gruber

Plzeň 10. 2. 2023

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou práci SOČ vypracoval samostatně a použil jsem pouze prameny a literaturu uvedené v seznamu bibliografických záznamů.

Prohlašuji, že tištěná verze a elektronická verze soutěžní práce SOČ jsou shodné.

Nemám závažný důvod proti zpřístupňování této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších předpisů.

V Plzni dne 9. března 2023

.....

Jíří Lüftner

Poděkování

Mé poděkování patří hlavně Ing. Josefu Gruberovi, díky němuž jsem se přihlásil do této soutěže, ale i za jeho ochotu při pomoci s touto prací. Dále bych chtěl také poděkovat Bc. Přemyslu Čechurovi a Ondřejovi Vladykovi za jejich odborné poradenství a také všem kamarádům a rodině za podporu.

Anotace

Práce se zabývá návrhem a výrobou parní strojovny určené k pohánění rádiem řízeného modelu lodi. Součástí práce je i přehled modelářských parních strojů. Je uveden popis použitého typu parního stroje (oscilační stroj), návrh rozměrů stroje i kotle a jeho nezbytných částí a popis výroby všech dílů. V závěru je popsáno oživení stroje, jsou uvedeny nezbytné úpravy prototypu a je popsán test plavby modelu lodi.

Klíčová slova

Parní stroj; oscilační parní stroj; parní pohon; parní kotel; parní loď, model lodi.

Annotation

The work deals with the design and production of a steam engine room proposed to power a radio-controlled model of a ship. It also includes an overview of small model steam engines. The work mentions a description of the used type of steam engine (oscillating engine), a design of the dimensions of the machine, the boiler and its necessary parts as well as a description of the production of all essential parts of the machine.

The final part of the work focuses on the description of the revival of the machine and presents the necessary modifications of the prototype. The work gives a description of the sea trial of the ship model.

Keywords

Steam engine; oscillating steam engine; steam propulsion; steam boiler; steam ship, boat model.

1	Úvod.....	8
2	Úvod do problematiky modelářských parních strojků, kotlů a zdrojů tepla.....	9
2.1	Modelářské parní strojky.....	9
2.1.1	Oscilační strojky	9
2.1.2	Šoupátkové strojky	10
2.2	Modelářské parní kotlíky	11
2.3	Zdroje tepla	12
2.3.1	Tuhý líh.....	12
2.3.2	Kapalný líh.....	12
2.3.3	Propan-butan	13
3	Teoretická část	14
3.1	Výrobní možnosti.....	14
3.2	Návrh hořáku.....	14
3.2.1	Náčrt hořáku	15
3.3	Návrh kotle.....	15
3.3.1	Řešení nedostatečného objemu kotle.....	18
3.3.2	Přetlakový ventil	19
3.3.3	Izolace kotle	20
3.3.4	Pájení	20
3.4	Návrh strojku.....	20
3.4.1	Princip oscilačních strojků.....	20
3.4.2	Stanovení hlavních rozměrů	21
3.4.3	Výpočty strojku.....	21
3.4.4	Způsob utěsnění pístu	25
3.4.5	Utěsnění pístní tyče.....	25
3.4.6	Náčrty.....	27
3.5	Rozložení strojovny do trupu lodi.....	28
4	Praktická část	29
4.1	Zajištění materiálu.....	29
4.2	Výroba strojku.....	31
4.2.1	Válec	31
4.2.2	Píst a pístní tyč.....	32
4.2.3	Horní víko	33

4.2.4	Spodní víko	33
4.2.5	Tělo strojku	34
4.2.6	Kliková hřídel	36
4.2.7	Setrvačnick	36
4.2.8	Kompletace a první rozběh	37
4.3	Výroba kotle	38
4.3.1	Výroba čel kotle	38
4.3.2	Parní dóm	39
4.3.3	Příprava na pájení.	39
4.3.4	Pájení	39
4.3.5	Tlakové zkoušky	40
4.3.6	Izolace	41
4.3.7	Zapojení čerpadla	41
4.4	Úprava kupovaného hořáku	42
4.5	Sestavení kompletní strojovny	42
4.6	Testování	42
4.6.1	První parní test	42
4.6.2	Ladění vzdálenosti mezi kotlem a hořákem	43
4.6.3	První test na vodě	44
4.7	Finální úpravy	44
4.7.1	Zvýšení hmotnosti setrvačnicku	44
4.7.2	Přítlačná pružina	44
4.7.3	Vložení teflonové třecí plošky	44
5	Závěr	45
5.1	Výsledné parametry strojovny	45
5.2	Možnosti do budoucna	45
6	Použitá literatura	46
7	Seznam obrázků a tabulek	47

Obsah

1 ÚVOD

Mezi mé koníčky patří i lodní modelářství, tedy stavění modelů lodí řízených rádiem a poháněných elektrickou energií, ale zaujala mě možnost pohánět model skutečným parním strojem. Proto potom, co jsem začal stavět další model lodi, bylo rozhodnuto, že bude poháněn parním strojem.

Hlavními cíli této práce jsou:

- Výroba nejen parního strojku, ale celé parní strojovny, která bude schopna samostatně pracovat; tedy získání zdroje tepla, který bude v kotli vyrábět vodní páru (dále již jen páru) pro pohon parního strojku.
- Zajištění bezpečného provozu celé strojovny tak, aby neohrožovala své okolí.
- Získání alespoň 15 minut čistého času běhu, než dojde voda v kotli či palivo sloužící k ohřevu.
- Instalace strojovny do již připraveného trupu tak, aby celková hmotnost strojovny nepřesáhla 1,5 kg z důvodu výtlačku modelu, ale zároveň byl zajištěn dostatečný výkon k pohonu lodi.
- Zvládnutí celé výroby v podmínkách domácí dílny, tedy s malým soustruhem, vrtačkou a ručním náradím.

2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY MODELÁŘSKÝCH PARNÍCH STROJKŮ, KOTLŮ A ZDROJŮ TEPLA

Největším problémem byl nedostatek podkladů, protože parním strojkům a jejich užití v modelech lodí se v Česku a na Slovensku zabývá pouze několik desítek nadšenců. Jeden z nich, pan Jiří Voráček, napsal krátkou publikaci, ve které popisuje základní postupy a rady pro stavbu a konstrukci modelů s parním pohonem. Základy jsou shrnuty v následující části.

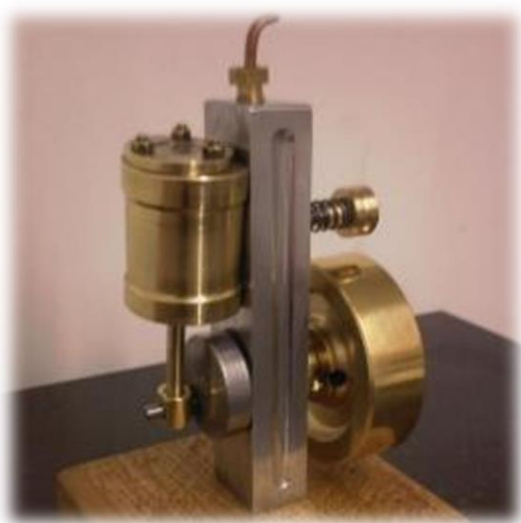
2.1 Modelářské parní strojky

Stejně jako skutečné parní stroje, tak i ty modelářské jsou tepelné pístové stroje, které přeměňují tepelnou energii páry na nejčastěji rotační pohyb. Ale oproti skutečným lze modelářské motory relativně snadno rozdělit na dva druhy, oscilační a šoupátkové (viz níže), ale také například podle počtu válců, či podle toho, zda pára působí pouze z jedné strany pístu, těm se říká jednočinné. Dvojčinné se nazývají ty, u kterých působí pára z obou stran pístu, tedy jak zespoda, tak i shora a mají tedy mnohem menší tzv. mrtvou pozici, tedy pozici, kde na píst nepůsobí žádná pohybová síla. K překonání těchto pozic využíváme setrvačné energie uložené v setrvačnicku strojku. [5]

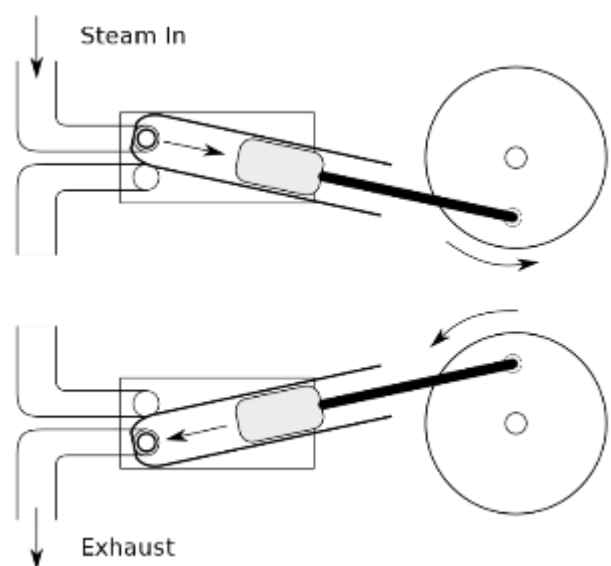
2.1.1 Oscilační strojky

Tento typ je úplně nejjednodušší možná konstrukce, nemá žádný sofistikovaný mechanický systém, co otvírá a zavírá přívod a výfuk páry do a z válce, ale celý tento cyklus je řízen pouze tím, jak válec kmitá a tím sám uzavírá a otevírá přívod a výfuk páry.

Mezi hlavní výhody toho typu strojku patří hlavně jeho jednoduchost, nízké výrobní náklady a velice dobrý poměr hmotnosti k výkonu strojku. Nevýhodami je hlavně nižší účinnost a větší spotřeba páry než u jiných typů, zapříčiněná hlavně tím, že třecí plochy se špatně utěšňují, a tak zde dochází ke ztrátám. Vlastnostmi je lze přirovnat ke dvoudobým spalovacím motorům.



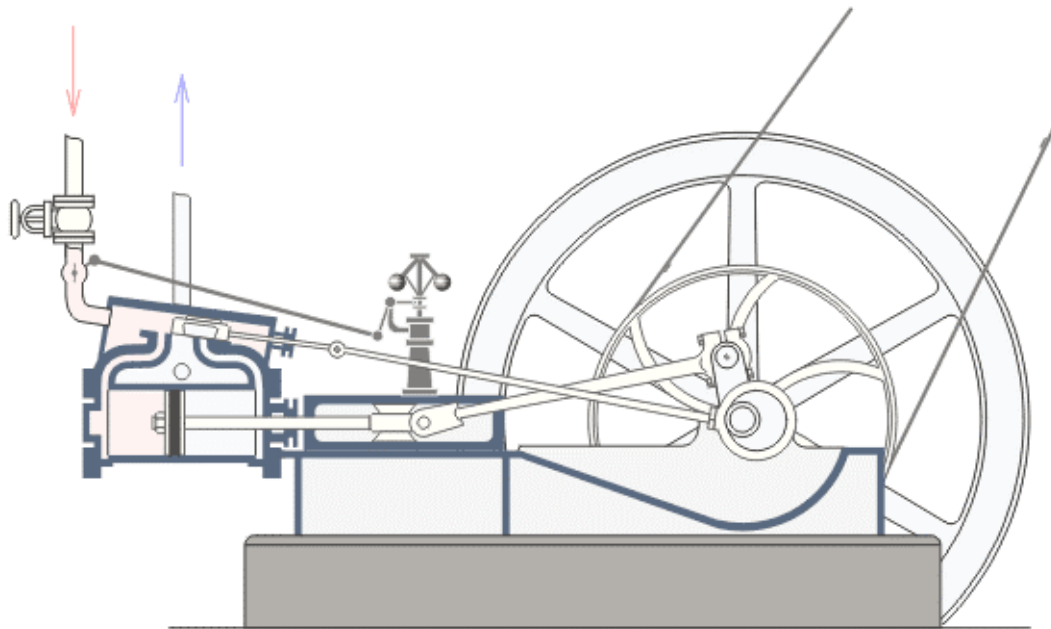
Obrázek 1: Oscilační strojek [6]



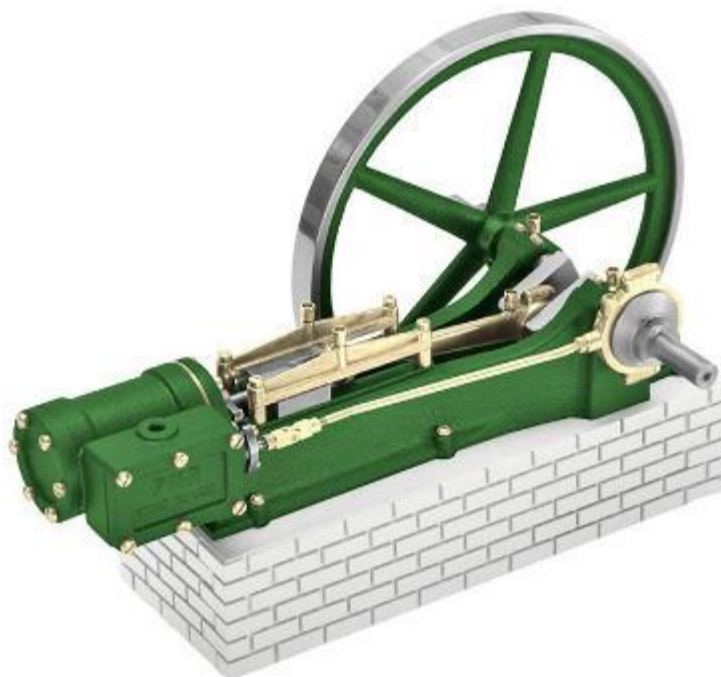
Obrázek 2: Princip oscilačního parního stroje [5]

2.1.2 Šoupátkové strojky

Šoupátkové parní strojky jsou již o poznání složitější než oscilační. Mají již speciální součást – šoupátko, která se stará o řízení přívodu a výfuku páry (obr. 3).



Obrázek 3: Princip šoupátkového stroje [5]

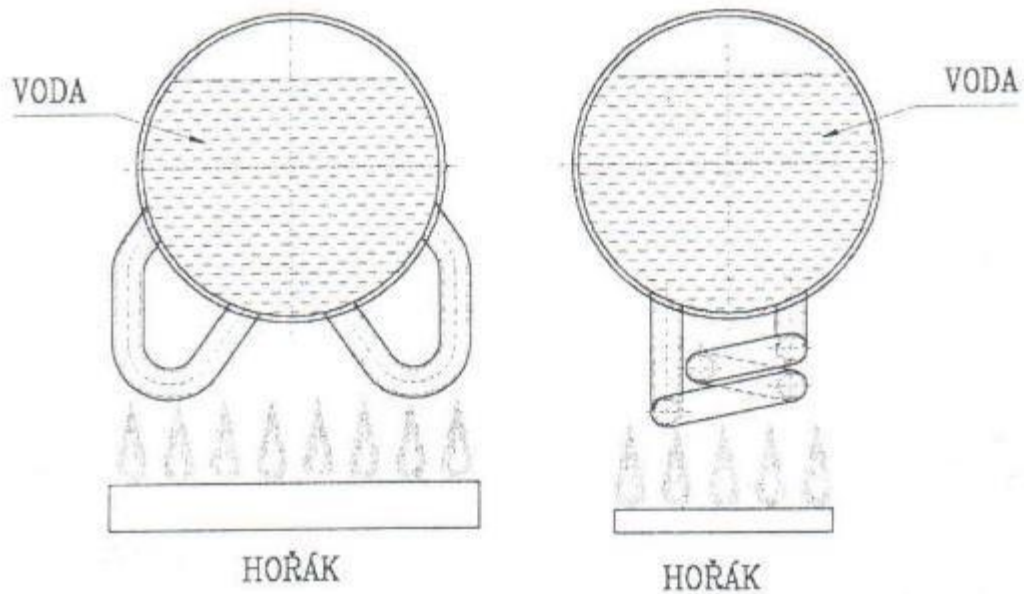


Obrázek 4: Šoupátkový strojek [8]

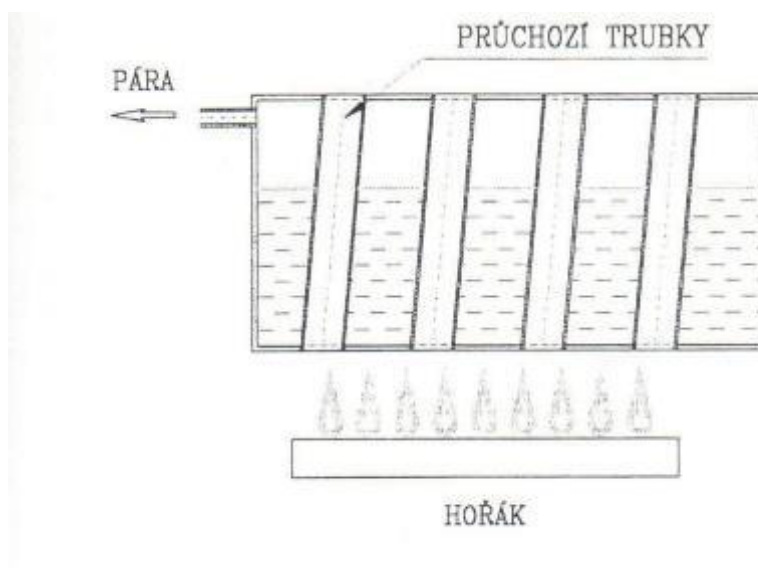
Nezpochybnitelnou výhodou šoupátkových parních strojů je jejich vyšší účinnost, jsou tedy lepší v přeměňování energie uložené v páře, a s tím také přímo souvisí jejich menší spotřeba páry, avšak na druhé straně stojí jejich větší složitost, a tedy i náročnější výroba. [1]

2.2 Modelářské parní kotlíky

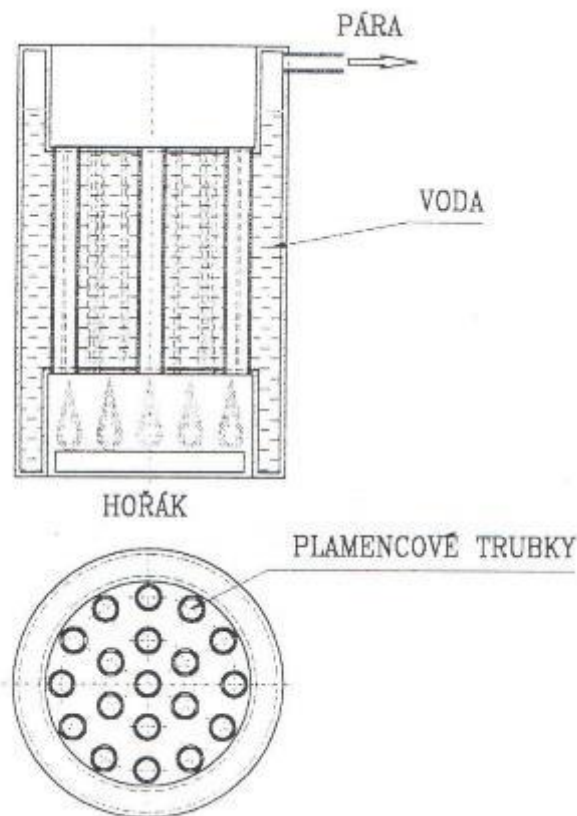
Parní strojek potřebuje zdroj páry. Tu získáváme pomocí parního kotle neboli uzavřené tlakové nádoby, ve které se za pomoci tepla přeměňuje voda v páru. [2] Druhů parních kotlů je nepřehledné množství, základní druhy ukazují obr. 5–7.



Obrázek 5: Válcový kotel s vodními trubkami [2]



Obrázek 6: Válcový kotel žárotrubný [2]



Obrázek 7: Stojatý kotel žárotrubný [2]

2.3 Zdroje tepla

Jako zdroje tepla se v modelech parních lodí používají vesměs pouze dále uvedené tři druhy.

2.3.1 Tuhý líh

Nejjednodušší, ale zároveň i nejméně používaný způsob zdroje tepla, využívá se hlavně u stacionárních hraček pro děti, kdy pod kotlem hoří pouze pár kostek tuhého lihu, lidově také zvaného „Hexa“. Jediná výhoda tohoto řešení spočívá v jednoduchosti, kdy stačí jen trochu místa pod kotlem, kde hoří samotné kostky, avšak má to řadu nevýhod, například silný zápach při hoření, nemožnost regulace plamene a také omezená doba hoření daná samotným palivem.

2.3.2 Kapalný líh

Hořáky tohoto typu již bývají sofistikovanější; jsou buď knotové, nebo odpařovací. Mají dobrou výhřevnost i levný provoz, avšak nejsou u modelářů moc oblíbené, protože se v nich takřka výhradně používá jako palivo technický líh, tedy denaturovaný ethanol, který je znám svojí hořlavostí a velice nízkou viskozitou. Je tak těžké ho bezpečně schraňovat v pohybujiícím se modelu a hrozí jeho únik do útrob lodi, což končí velice často jeho vzplanutím a následným nekontrolovaným požárem modelu, kterému se snaží všichni vyhnout. [2]

2.3.3 Propan-butan

V podstatě jediný druh, který se používá v modelářské praxi, a to z jasných důvodů, jako je vysoká výhřevnost, možnost regulace plamene, relativní bezpečnost a snadný provoz. Je to další tlaková nádoba v lodi, ale za cenu nejvýkonnějšího možného hořáku to stojí. Tyto plynové hořáky se také dělí na dvě skupiny, na klasické hořáky hořící kuželovým plamenem a na hořáky keramické, tedy na destičku se spoustou malých dírek, kde plyn hoří ve slabé vrstvě těsně nad povrchem destičky.



Obrázek 9: Keramický plynový hořák [7]



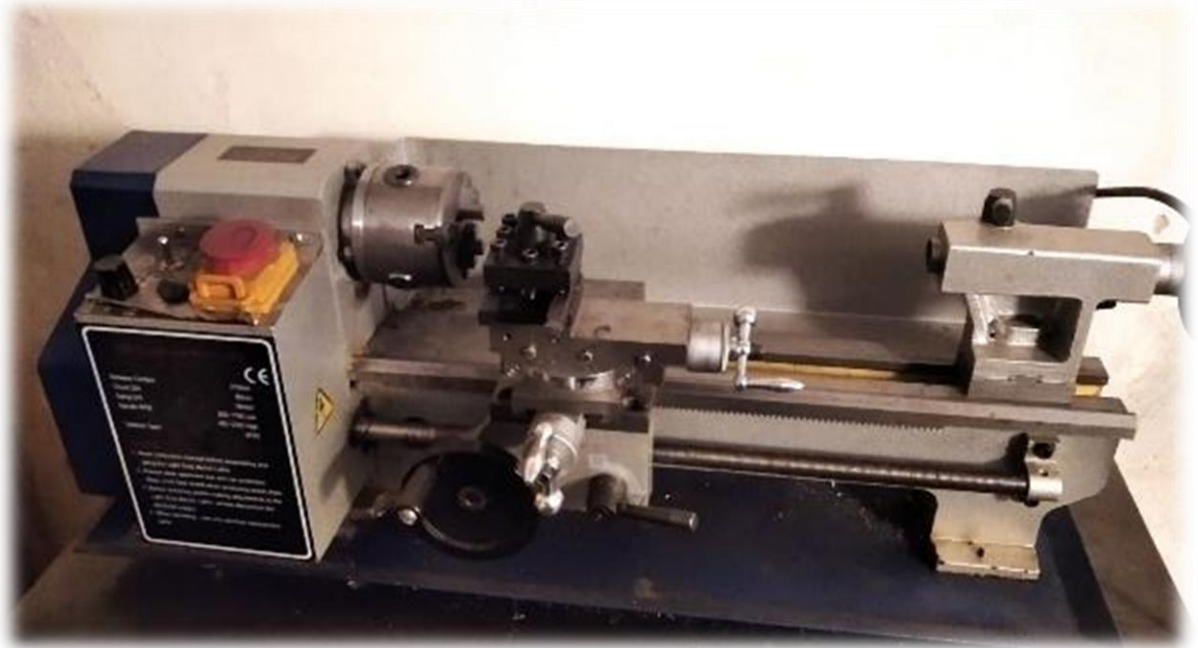
Obrázek 8: Hořák s kuželovým plamenem

3 TEORETICKÁ ČÁST

V této části, již po seznámení s problematikou celého odvětví, se práce zabývá samotným návrhem celé strojovny. Ne vždy byly k dispozici všechny potřebné podklady, a tak se muselo často čerpat z různých fór, kde byly sdíleny zkušenosti ostatních, či případně nezbylo než postupovat metodou pokus – omyl, která se s dávkou trpělivosti ukázala jako funkční.

3.1 Výrobní možnosti

Celá konstrukce byla navržena tak, aby byla vyrobitelná v mé domácí dílně, kde jsou k dispozici pouze omezené výrobní možnosti a postupy. Naštěstí je tu možnost využití malého soustruhu na kov, stojanové vrtačky a základního ručního nářadí, takže to hlavní limitující, je nemožnost využití frézování při výrobě.



Obrázek 10: Soustruh

3.2 Návrh hořáku

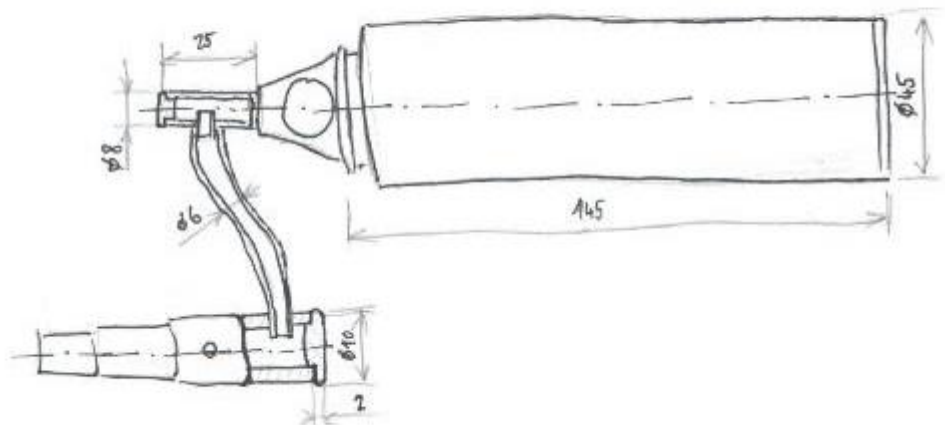
Bylo započato návrhem toho, co bylo nejjasnější, tedy hořákem, zvolen byl kupovaný kartušový hořák s deklarovaným výkonem 800 W, kterému byl pouze upraven tvar tak, aby plamen směřoval tam, kam má.



Obrázek 11: Vybraný hořák [11]

3.2.1 Náčrt hořáku

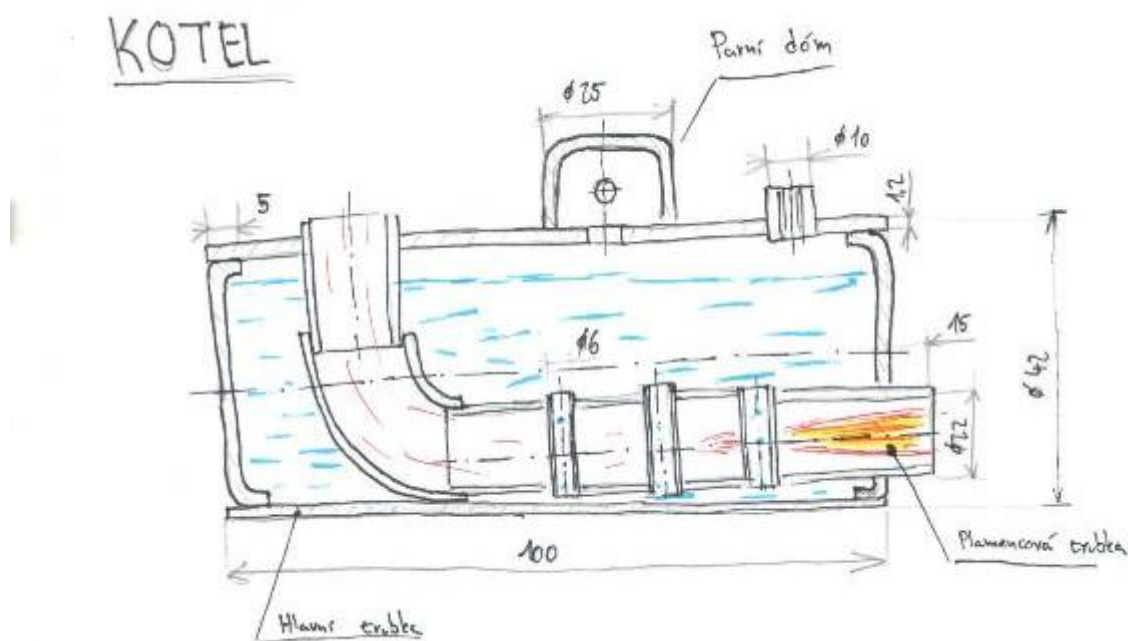
HOŘÁK



Obrázek 12: Náčrtek hořáku

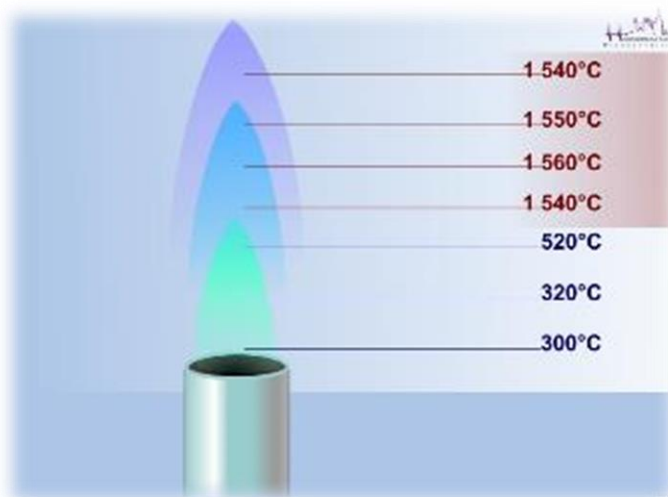
3.3 Návrh kotle

Při návrhu kotle byl kladen důraz na to, aby se využilo co nejvíce z potenciálu hořáku. Zvolen byl proto ležatý kotel s jednou plamencovou trubicí částečně přerušenou na několika místech vodními trubicími. Jeho náčrt je na obr. 13.



Obrázek 13: Náčrtek kotle

Obecně u kotlů je velice podstatné, aby dokázaly co nejlépe využívat dodávané teplo, což ne vždy je jednoduchý úkol, ale věřím, že tento kotel, kde je veškeré teplo soustředěno do jedné hlavní plamencové trubky, je dostatečný. Důležitá také je poloha hořáku, protože když bude zasunut příliš daleko dovnitř kotle, tak většina tepla unikne komínem a jen malá část bude ohřívat vodu, naopak když bude vložen málo, tak bude plamen zbytečně ohřívat okolní vzduch. Pro lepší pochopení je důležité znát teploty v různých částech plamene hořáku, obecně pro propan-butanové hořáky platí schéma uvedené na obr. 14.



Obrázek 14: Schéma teploty plamene propan-butanového hořáku [9]

Při samotném nastavování hořáku uvnitř lodi musí být zajištěna jeho nejlepší pozice. Materiál kotle také nebylo těžké zvolit, jasným favoritem byla měď, se kterou se snadno pracuje, je korozivzdorná, dá se pájet a dobře vede teplo. Jediná její nevýhoda je vysoká cena a možnost koupě trubkového profilu pouze v několika rozměrech.

Pro jistotu byly provedeny některé výpočty za účelem zajištění bezpečnosti kotle.

Výpočet napětí ve stěně kotle při tlaku 4 barů (tedy 0,4 MPa):

$$\sigma_t = \frac{F_p}{S} = \frac{p \cdot l_1 \cdot D}{2 \cdot l_1 \cdot t} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot t}$$

$$\sigma_t = \frac{0,4 \cdot 39,6}{2 \cdot 1,2}$$

$$\sigma_t = 6,6 \text{ MPa}$$

Trubkové profily se vyrábí s tloušťkou stěny 1,2 mm, proto bylo počítáno s touto tloušťkou. Jelikož je dovolené napětí v tahu mědi 150 MPa a výpočtem bylo zjištěno 6,6 MPa, bude kotel i s bezpečnostním koeficientem 10 stále bezpečný.

Dále bylo vypočítáno napětí ve spoji víka kotle a hlavní trubky při tlaku 4 barů (tedy 0,4 MPa):

$$\tau_{sd} = \frac{p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{\pi \cdot D \cdot b} = \frac{p \cdot D}{4 \cdot b}$$

$$\tau_{sd} = \frac{0,4 \cdot 39,6}{4 \cdot 3}$$

$$\tau_{sd} = 1,32 \text{ MPa}$$

Přibližný výpočet objemu kotle:

$$\begin{aligned} v &= (\pi r_1^2 l_1) - (\pi r_2^2 l_2) \\ v &= (\pi \cdot 19,8^2 \cdot 97,6) - (\pi \cdot 11^2 \cdot 100) \\ v &= 82\,193 \text{ mm}^3 \\ v &= 82,2 \text{ cm}^3 = 82,2 \text{ cl}, \end{aligned}$$

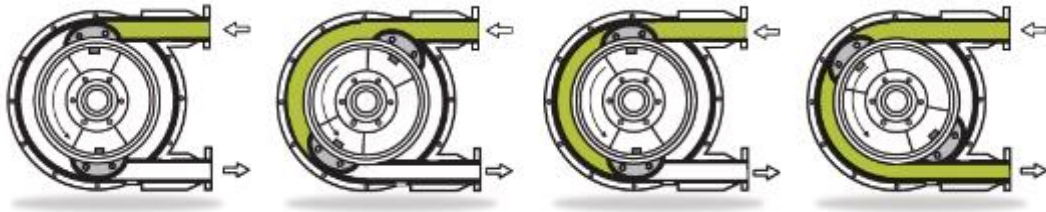
kde použité hodnoty uvádí tabulka 1. Obsah kotle se ukázal jako velice malý, jednak toto tvrzení podporuje výpočet spotřeby páry strojku (viz 3.4.3.5 Spotřeba páry), ale i samotný fakt, že strojovny podobných rozměrů mývají kotle 2-3 větší objem. Začalo tedy hledání způsobu, jak tento problém vyřešit.

Tabulka 1: Vysvětlivky k výpočtům kotle

Vysvětlivky	
D	Vnitřní průměr hlavní trubky (mm)
l₁	Délka hlavní trubky (mm)
l₂	Rozvinutá délka plamencové trubky (přibližná) (mm)
t	Tloušťka hlavní trubky (mm)
p	Pracovní tlak (MPa)
r₁	Vnitřní poloměr kotle (mm)
r₂	Vnější poloměr plamencové trubky (mm)
b	Šířka kontaktní plochy víka s hlavním válcem (mm)

3.3.1 Řešení nedostatečného objemu kotle

Jako nejjednodušší řešení se nabízelo zvětšení rozměrů kotle, avšak toto řešení nebylo ideální, zbytečně by se zvýšila celková hmotnost, výroba by byla náročnější, a hlavně i zajištění



Obrázek 15: Schéma peristaltického čerpadla [10]

materiálu by bylo složitější. Jako lepší řešení se ukázalo užití nějakého druhu pumpovacího zařízení, které by dodávalo vodu do kotle přímo během provozu, čím by zcela odpadnul problém s nedostatečným objemem kotle, avšak vyráběné pumpy jsou velice drahé a vlastnoručně vyráběné jsou velice složité a obtížné na výrobu. Jako optimální řešení se ukázalo použití **peristaltického čerpadla**. Jednoduchost, dobře regulovatelný průtok a dostatečný tlak, to jsou vlastnosti toho čerpadla a ke všemu je cenově dostupné. K tomu všemu ještě není potřeba žádného zpětného ventilu, jak je vidět dle pracovního schématu. Princip je naprosto jednoduchý, pomocí rolen je střídavě stlačována a uvolňována pružná hadička, většinou silikonová, vždy dojde k postupnému uzavření malého objemu kapaliny, který je následně vytlačován dále.

Z teoretického hlediska by mělo čerpadlo plně dostačovat, což bude ověřeno při testování.



Obrázek 16: Peristaltické čerpadlo

3.3.2 Přetlakový ventil

Naprostou nutností každého kotle je přetlakový neboli bezpečnostní ventil, který přímo brání výbuchu kotle tím, že při dosažení určitého tlaku se ventil otevře a začne upouštět páru, dokud se tlak zase nesníží na provozní hodnotu.



Obrázek 17: Pojistný ventil

Tyto ventily sice nejsou výrobně složité, ale raději byla zvolena možnost kupovaného ventilu, protože práce s tlakovými nádobami naplněnými vodou ohřátou na až 140 °C, která se v případě

úniku okamžitě přemění v páru, mnohonásobně zvýší svůj objem a může způsobit vážná poranění, je nebezpečná. V úvahu připadal ventil, který se prodává jako náhradní díl k parním kotlům německé firmy Wileco, který je z výroby nastaven na 2 bary, což je pro tyto účely ideální a jeho cena je taktéž přívětivá. [2]

3.3.3 Izolace kotle

Z důvodu zamezení tepelných ztrát co nejvíce jak je možné, byla navržena izolace kotle. Jako ideální izolant, který je dostatečně tepelně odolný, byl zvolen keramický papír o tloušťce 3 milimetrů, který byl k dispozici z posledního projektu. Jako způsob přichycení posloužila hliníková lepicí páska.

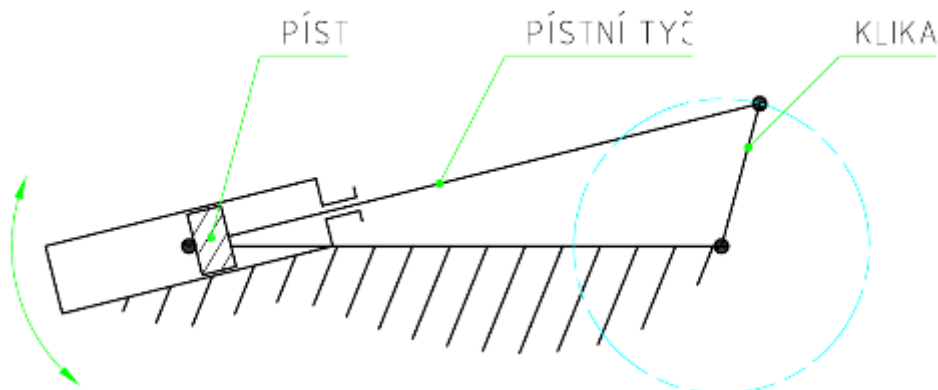
3.3.4 Pájení

Jelikož možnosti dílny nedovolují výrobu kotle v jednom kuse a ani možnost svaření kotle, musel být vyhledán jiný způsob nerozebíratelného spojení. V úvahu v podstatě připadalo pouze možnost spájení natvrdo, které nabízí dostatečnou tepelnou odolnost i pevnost na rozdíl od pájení naměkko. Byla vybrána pájka s vysokým procentem stříbra a k ní i vhodné tavidlo.

3.4 Návrh strojku

Na řadu přišlo navrhování samotného strojku. Po zvážení všech v úvahu připadajících možností byl zvolen **jednoválcový dvojčinný oscilační strojek**, hlavně z již dříve zmíněných výhod jednoduché konstrukce a snadné výroby, která by měla být proveditelná i v domácích podmínkách. Před samotným návrhem je třeba si ujasnit, jak přesně dané oscilační strojky fungují.

3.4.1 Princip oscilačních strojků



Obrázek 18: Schéma oscilačního strojku

Jak již bylo zmíněno, tyto parní strojky nepotřebují žádné ventily či šoupátka, ale celý cyklus pouštění a výfuku páry je řízen jen pomocí toho, jak celý válec osciluje, když se otáčí klikovou

hřídelí. Jsou tedy střídavě zakrývány a odkrývány porty v těle strojku tak, aby pára působila na píst ve správnou chvíli, případně aby byla vypouštěna ve správnou chvíli. [5] Jedná se tedy v podstatě o kulisový mechanismus, který je znázorněn na obr. 18. Z toho tedy vyplývá, že bude velice důležité, aby vzdálenost mezi středem klikové hřídele a čepem, okolo kterého osciluje válec, měla správnou velikost, stejně jako pozice vstupních a výstupních portů v těle strojku.

3.4.2 Stanovení hlavních rozměrů

Hlavními rozměry motorů obecně jsou průměr vrtání válce a délka zdvihu pístu. Je dáno, že zdvih by měl být zhruba o třetinu až polovinu větší než průměr vrtání válce, čím menší je zdvih, tím kratší je doba jedné otáčky a strojek je tedy rychlejší. Bylo zvoleno vrtání strojku 9 mm a zdvihu 12 mm. [2].

3.4.3 Výpočty strojku

Ještě bylo provedeno několik výpočtů sloužících ke kontrole a ověření některých rozměrů a také za účelem zjištění teoretického objemu kotle.

3.4.3.1 Kontrola čepu klikové hřídele na smyk a otláčení:

$$\tau_s = \frac{p \cdot \frac{\pi \cdot d_p^2}{4}}{\frac{\pi \cdot d_\xi^2}{4}} = \frac{p \cdot d_p^2}{d_\xi^2}$$

$$\tau_s = \frac{0,4 \cdot 9^2}{1,5^2}$$

$$\tau_s \cong 14,4 \text{ MPa}$$

$$p = \frac{F}{S} = \frac{p \cdot \frac{\pi \cdot d_p^2}{4}}{\frac{d_\xi}{2} \cdot l_0} = \frac{p \cdot \pi \cdot d_p^2}{2 \cdot d_\xi \cdot l_0}$$

$$p = \frac{0,4 \cdot \pi \cdot 9^2}{2 \cdot 1,5 \cdot 3}$$

$$p \cong 11,3 \text{ MPa}$$

Čep klikové hřídele vyrobený z materiálu CuZn37 ($\tau_{dov} = 25\text{-}35 \text{ MPa}$, $p_{dov} = 40\text{-}60 \text{ MPa}$) vyhovuje.

3.4.3.2 Zdvihový objem strojku:

$$V = V_1 + V_2 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot l + \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d_p^2) \cdot l$$

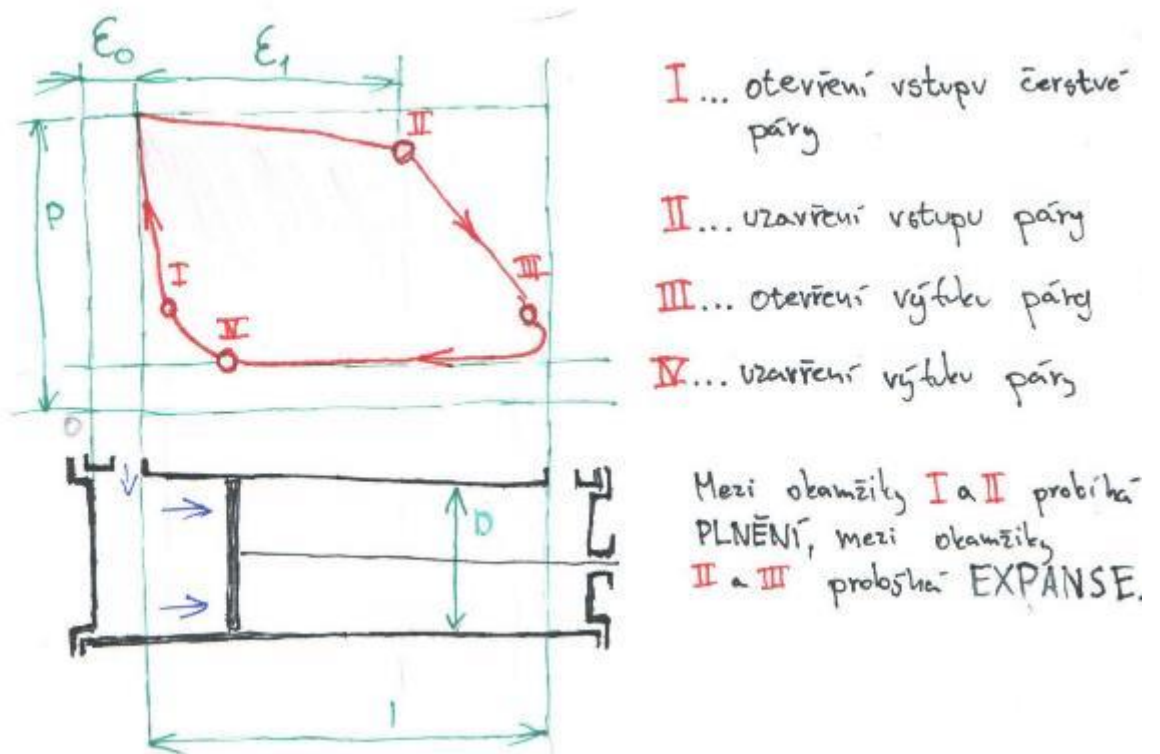
$$V = \frac{\pi \cdot 9^2}{4} \cdot 12 + \frac{\pi}{4} \cdot (9^2 - 3,2^2) \cdot 12$$

$$V = 1\,430,3 \text{ mm}^3 \cong 1,4 \text{ cm}^3$$

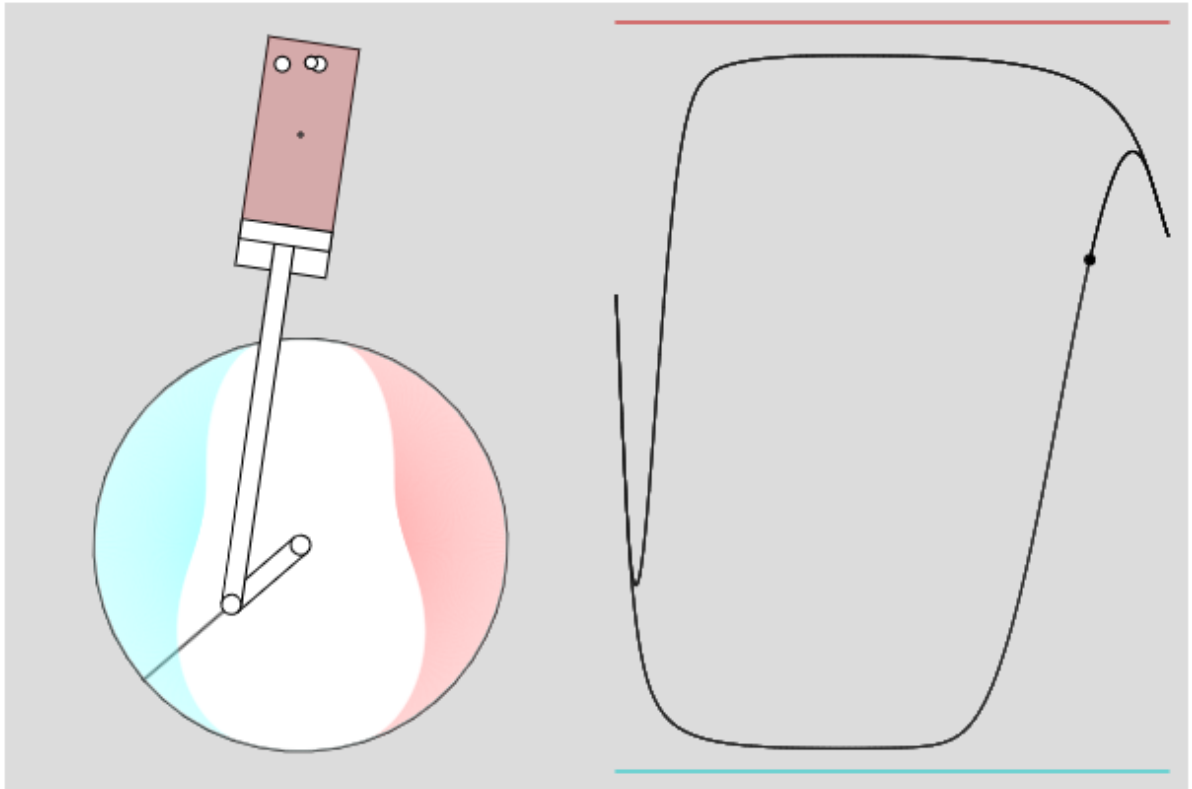
Zdvihový objem strojku na jednu otáčku je přibližně $1,4 \text{ cm}^3$

3.4.3.3 Tlakový diagram:

Obrázek 19 znázorňuje tlakový diagram pro šoupátkové a ventilové parní stroje, naopak obrázek 20 znázorňuje tlakový diagram platný pro zvolený oscilační parní stroj. Při porovnání obou diagramů můžeme pozorovat značné odlišnosti.



Obrázek 19: Náčrtek tlakového diagramu pro šoupátkový parní stroj [1]



Obrázek 20: Tlakový diagram oscilačního parního stroje [13]

3.4.3.4 Plnění válce a škodlivý prostor:

$$\varepsilon_1 = 80 \% = 0,8$$

Plnění válce představuje, kolik procent páry z plnicího cyklu vstupuje do válce, zbylých 20 % cyklu pára expanduje. Tyto hodnoty jsou pouze přibližné a vycházejí z obecné charakteristiky oscilačních parních strojů [1].

$$\varepsilon_0 = 10 \% = 0,1$$

Škodlivý prostor válce je prostor mezi horní úvratí pístu a víkem válce.

3.4.3.5 Objemový průtok:

$$Q_1 = V_1 \cdot (\varepsilon_1 + \varepsilon_0) + V_2 \cdot (\varepsilon_1 + \varepsilon_0)$$

$$Q_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot l \cdot \sum_{n=0}^1 \varepsilon_n + \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d_p^2) \cdot l \cdot \sum_{n=0}^1 \varepsilon_n = \frac{\pi}{4} \cdot (2D^2 - d_p^2) \cdot l \cdot \sum_{n=0}^1 \varepsilon_n$$

$$Q_1 = \frac{\pi}{4} \cdot (2 \cdot 9^2 - 3,2^2) \cdot 12 \cdot 0,9$$

$$Q_1 = 1\,287,27 \text{ mm}^3 = 1,29 \cdot 10^{-9} \text{ mm}^3$$

$$Q = Q_1 \cdot n$$

$$Q = 1,29 \cdot 10^{-6} \cdot 25$$

$$Q \cong 3,23 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

Objemový průtok páry je přibližně $3,23 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

3.4.3.6 Spotřeba páry:

$$m_p = \frac{Q}{v}$$

$$m_p = \frac{3,23 \cdot 10^{-5}}{0,7185}$$

$$m_p = 4,5 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cong 0,16 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1},$$

kde hodnota v (měrný objem páry) byl vyčten z tabulek [12]. Tento výpočet je pouze přibližný, z důvodu nekonstantního tlaku páry ve válci.

Spotřeba páry je zhruba $0,16 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ a ze znalosti zákona zachování hmoty může předpokládat, že tato hodnota odpovídá hmotnosti vody o hodnotě přibližně 160 gramů, tedy přibližně 160 mililitrů. Z toho vyplývá, že na hodinový provoz strojek by se spotřebovala páry vyrobená z přibližně 160 mililitrů vody. Strojek v lodi by měl běžet zhruba 30 minut, což by odpovídalo spotřebě 80 mililitrů vody, samozřejmě bez započítání jakýkoliv ztrát. S ohledem na požadovaný zbylý objem vody v kotli a provozní ztráty můžeme odhadnout, že kotel by měl mít objem zhruba dvakrát větší, tedy přibližně 160 mililitrů.

3.4.3.7 Průměr přívodů páry

$$S = \frac{V}{c}$$

$$S = \frac{4,4 \cdot 10^{-5}}{30}$$

$$S = 1,47 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

↓

$$S = \frac{\pi \cdot d_k^2}{4}$$

$$d_k = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}}$$

$$d_k = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,54 \cdot 10^{-6}}{\pi}}$$

$$d_k = 0,014 \text{ m} = 1,4 \text{ mm}$$

Pro jistotu byly voleny trubkové profily o vnitřním průměru 3 milimetry a díry o průměru 2 milimetru.

Tabulka 2: Vysvětlivky k výpočtům parního strojku

Vysvětlivky	
D	Průměr pístu (mm)
d_p	Průměr pístní tyče (mm)
l	Zdvih (mm)
l₀	Šířka pístní tyče (mm)
d_č	Průměr klikového čepu (mm)
p	Pracovní tlak (MPa)
V	Zdvihový objem strojku (mm ³)
Q	Objemový tok páry (m ³ ·kg ⁻¹)
n	Otáčky stroje (s ⁻¹)
d_k	Průměr přívodu páry (mm)
c	Střední rychlost pístu (přibližná) (m·s ⁻¹)
m_p	Hmotnostní průtok páry (kg·s ⁻¹)
ε₁	Plnění válce (%)
ε₀	Škodlivý prostor válce (%)
v	Měrný objem páry (m ³ ·kg ⁻¹)

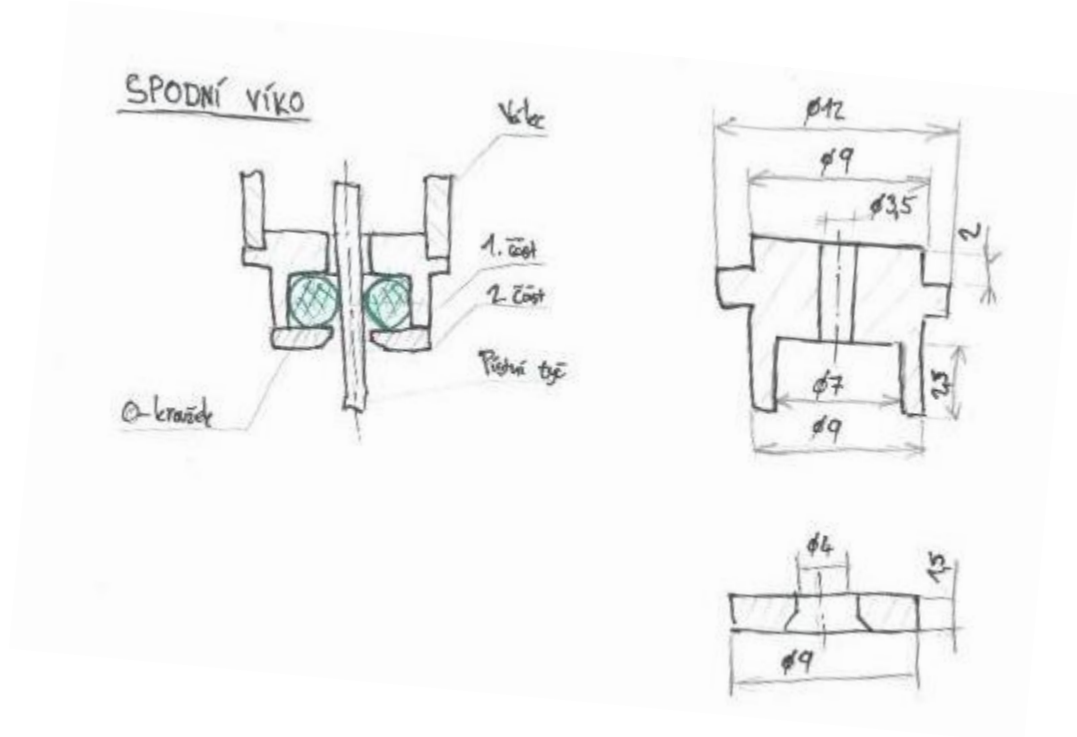
3.4.4 Způsob utěsnění pístu

Bylo zjevné, že nebude v našich schopnostech vysoustružit dokonalý píst, který bude takřka bez vůle sedět ve válci a zároveň se v něm bude pohybovat hladce. Proto se již od začátku plánování počítalo s využitím O-kroužků, konkrétněji z materiálu FPM80, který se vyznačuje odolností vůči olejům, páře, otěru, a hlavně teplotám až do 220 °C, což je pro tyto účely vyhovující. Pro utěsnění pístu byl tedy zvolen O-kroužek 7 x 1 FPM80.

3.4.5 Utěsnění pístní tyče

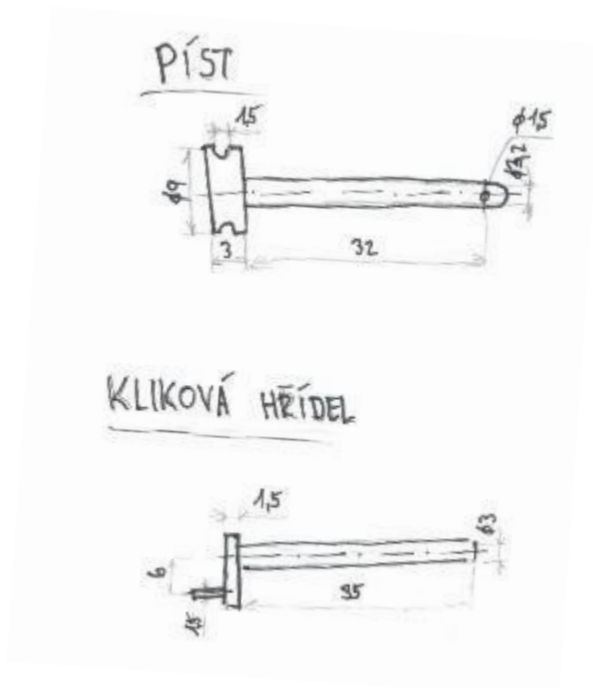
Jelikož byl zvolen dvojčinný parní strojek, bylo nutno řešit též problémem utěsnění pístní tyče při průchodu spodním víkem. Bylo již naprosto jasné, že se bude muset zase využít O-kroužků, ale bylo nutno navrhnout, jak je zajistit. Nakonec se jako nejlepší řešení ukázala alternativa na obr. 21:

Byla zvolena verze dvojdílná, která bude nejdříve obrobena ve dvou kusech, spájena, připájena k tělu válce, a nakonec doplněna O-kroužkem, Také byla zvolena pístní tyč o průměru 3,2 mm a O-kroužek 3 x 1,5 FPM80. Tato kombinace by měla zaručit velice těsný spoj a nemělo by tak docházet k velikým únikům páry.

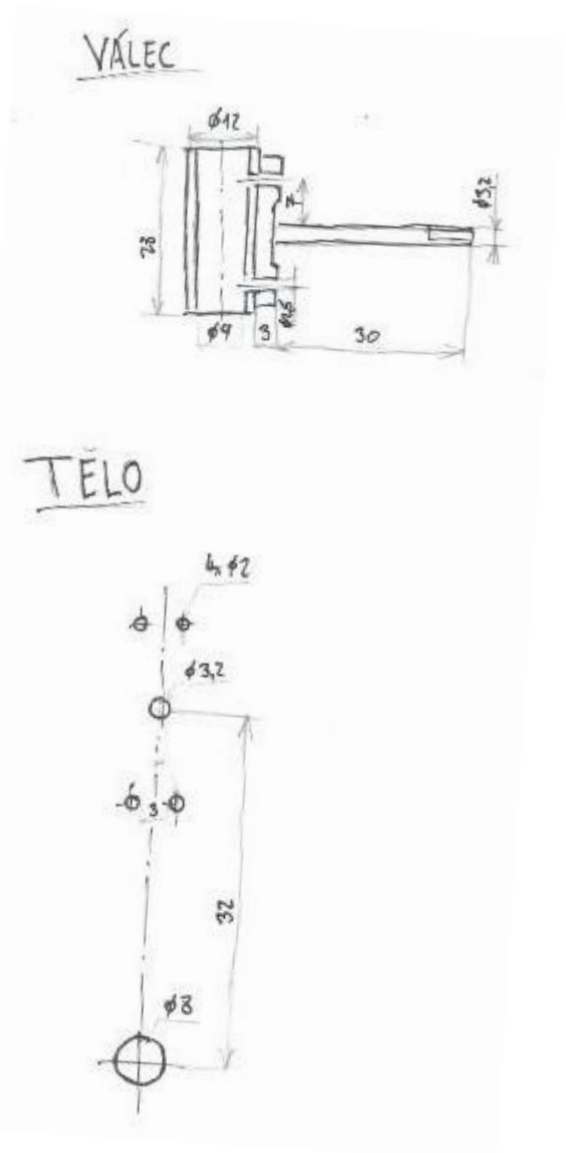


Obrázek 21: Náčrtek spodního víka

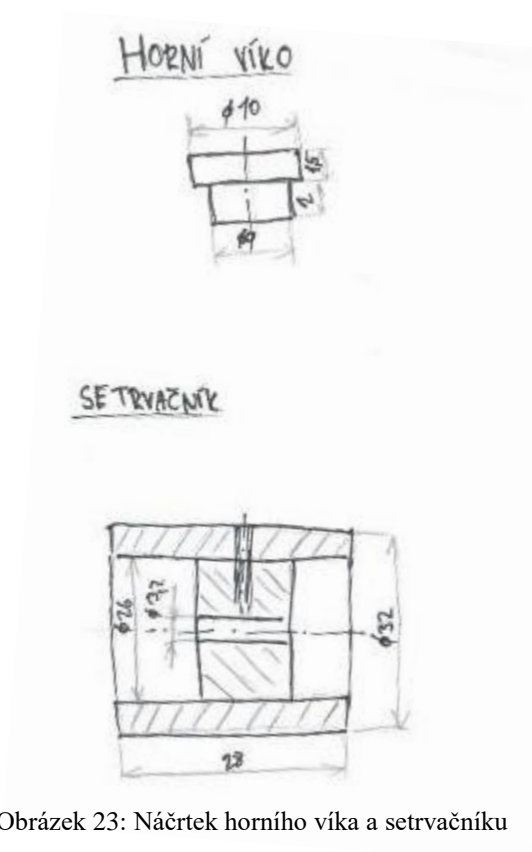
3.4.6 Náčrty



Obrázek 24: Náčrtek pístu a klikové hřídele

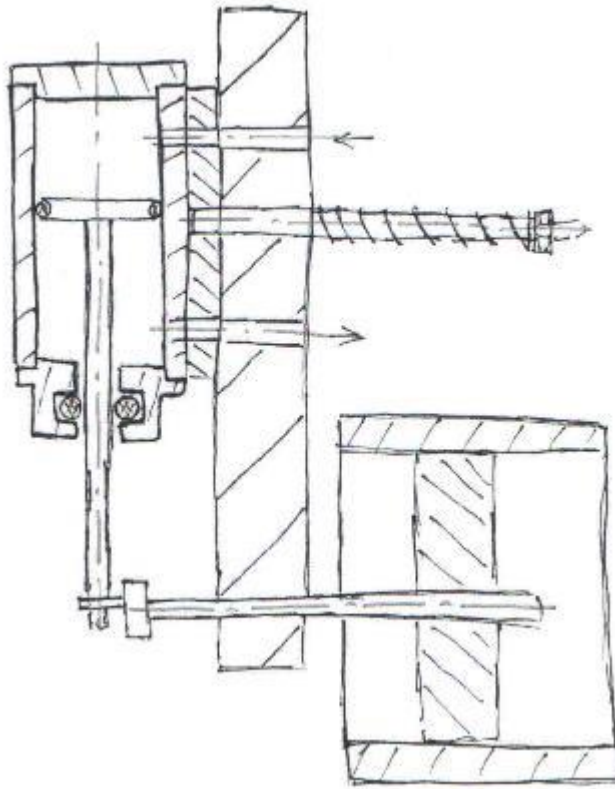


Obrázek 22: Náčrtek válce a těla strojku



Obrázek 23: Náčrtek horního víka a setrvačnicku

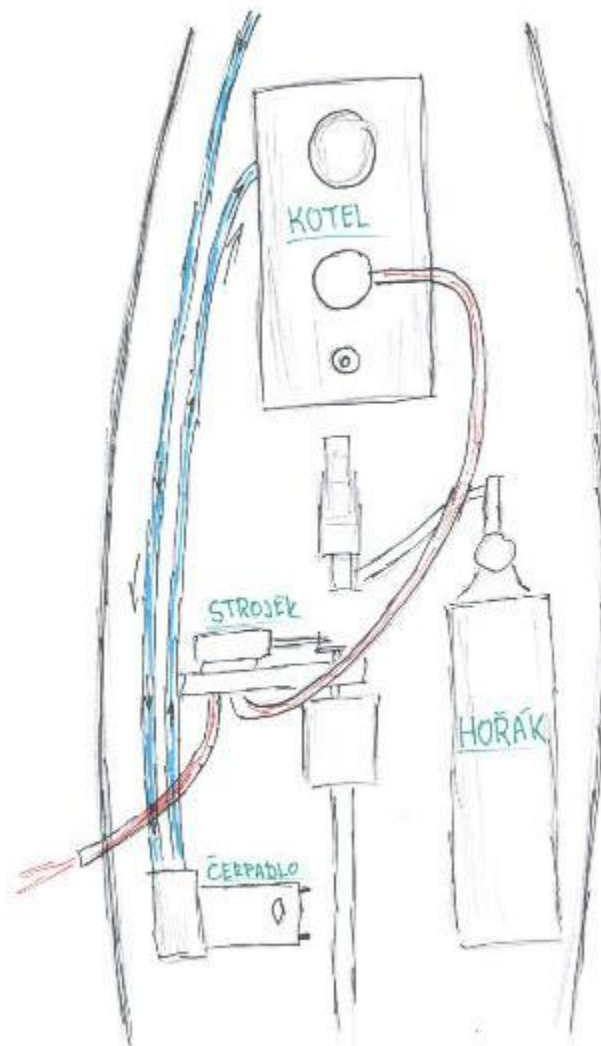
SESTAVA



Obrázek 25: Sestava strojku

3.5 Rozložení strojovny do trupu lodi

Poslední věc, co zbývala vyřešit před vlastní výrobou, bylo samotné rozložení jednotlivých částí do trupu lodi, který byl mezitím vyroben, tak, aby vše mohlo správně fungovat. Jasně dané bylo místo, kde se musí nacházet samotný strojek, a to hned u konce hřídele, dále bylo dáno, že kvůli co nejmenším tepelným ztrátám by parní potrubí mezi kotlem a strojem mělo být co nejkratší. Z toho vznikl jasný obrázek uspořádání:



Obrázek 26: Rozložení stroje

4 PRAKTICKÁ ČÁST

4.1 Zajištění materiálu

Před tím, než se mohlo začít se samotnou výrobou, musel být opatřen veškerý materiál, za tímto účelem tedy byla vytvořena materiálová tabulka:

Tabulka 3: Tabulka materiálů

Polotovár	Rozměr	Materiál	Poznámka
Tyč kruhová	Ø 12 x 300	CuZn37	
Tyč kruhová	Ø 26 x 100	CuZn37	
Trubka O	Ø 12 x 1,5 x 100	CuZn37	
Trubka O	Ø 10 x 1 x 100	CuZn37	
Plech	5 x 50 x 100	CuZn37	
Tyč kruhová	Ø 3,2 x 200	CuZn37	
Trubka O	Ø 42 x 1,2 x 200	Cu-DHP	
Trubka O	Ø 22 x 1,2 x 200	Cu-DHP	
Trubka O	Ø 6 x 1 x 200	Cu-DHP	
Trubka O	Ø 4 x 0,5 x 400	Cu-DHP	
Tyč kruhová	Ø 10 x 100	Cu-DHP	
Tvarovka – Koleno 90°	Ø 22	Cu-DHP	CU KOLENO 90° I/I 22 mm
Tvarovka – Víčko	Ø 22	Cu-DHP	CU 5301 22 měděné víčko

V plánu bylo nakoupit veškerý materiál v prodejně hutních polotovarů, ale s dnešními cenami to nebylo úplně v rozpočtu tohoto projektu, proto byl místo toho nakoupen v místním kovošrotu.



Obrázek 27: Materiál

Když byl tedy všechen materiál získán, mohlo se začít se samotnou výrobou. Nejdříve tím nejsložitějším, tedy strojkem.

4.2 Výroba strojku

4.2.1 Válec

Začalo se výrobou válce. První byl uříznut kus mosazné trubky. Na soustruhu byl poté obroben na finální rozměr. Ještě nebyl úplně ideální povrch jeho vnitřní části, a tak se pomocí proužku kůže s trochou lapovací pasty v soustruhu vyleštil.

Dále k němu bylo připájeno mosazné kolečko, o průměru 26 milimetrů a tloušťce 3 mm, které bude sloužit jako třecí plocha. Proto byla snaha obrobit ji na co nejhladší povrch, ten se nakonec ještě opracoval pomocí smirkového papíru a následně pomocí kousku kůže a lapovací pasty. Před pájením se také pomocí kruhového pilníku udělala drážka a očistily oba povrchy a nanesla se pájecí kapalina. Samotné pájení naměkko bylo provedeno za pomoci plynového hořáku a pájky SnPb40. Dále bylo ještě nutné připájet tyč se závitem M3 na konci. Jelikož má tyč průměr 3,2 mm, musel být její konec osoustružen na průměr 2,9 mm a následně vyříznut závit. Pak již jen zase vše očistit, nanést pájecí kapalinu a připájet. Zbývalo jen očistit pomocí ocelové vlny všechny plochy, které nejsou funkční, a první část byla hotova.



Obrázek 28: Válec strojku



Obrázek 29: Pohled do válce



Obrázek 30: Třecí ploška válce

4.2.2 Píst a pístní tyč

Další na radě byl píst a pístní tyč. První přišel na řadu píst. Začalo se uříznutím kousku mosazné kulatiny o průměru 12, jeho upnutím do soustruhu, zmenšením jeho průměru na 9 mm tak, aby co nejlépe zapadnul do válce. Následovalo vysoustružení přibližné drážky pro o-kroužek. Drážka byla dokončena jehlovým pilníkem. Nakonec byla vyvrtána přímo ve středu díra o průměru 3,2 mm a následně byl píst upíchnut tak, aby tloušťka pístu činila 3 mm.

Zbývalo ještě k pístu připájet pístní tyč. Jelikož povrch tyče nebyl ideální, byl vyhlazen pomocí smirkového papíru, čímž se rovnou očistil. Pak zbývalo jen zase nanést pájecí kapalinu a vše spájet naměkko. Tudíž už jen zbývalo vyvrtat díru o průměru 1,5 mm na konci tyče a také tato část byla hotová.



Obrázek 31: Píst

4.2.3 Horní víko

Pokračovalo se horním víkem válce, které je podstatně jednodušší na výrobu než to spodní. Celé víko bylo vysoustruženo z jednoho kusu mosazi. Jediné, co bylo náročné, bylo dosažení druhého průměru tak, aby se víko dalo nalisovat do válce a nebylo tam jen volně uložené, což se na druhý pokus také povedlo.

4.2.4 Spodní víko

U spodního víka se začalo jeho první a složitější částí, u ní již druhý průměr nebyl tak podstatný jako u horního víka, protože zde to bude připájeno, a tak jediné úskalí bylo vyvrtat správně soustřednou díru o průměru 3,5 a následně ji do poloviny zvětšit na průměr 7.



Obrázek 32: Horní víko

Druhá část také nebyla jinak složitá na výrobu, jen byla jednoduše vysoustružena z mosazi a upíchnuta. Důležité zde bylo udělat zkosení na jedné straně vnitřní díry, aby následně šel správně protáhnout O-kroužek.

A teď přišlo na řadu jako vždy pájení, takže vše očistit a natřít pájecí kapalinou, ovšem zde se musely pájet hned dva spoje na jednou, takže důležité bylo vše správně umístit a pak jen pomocí plynového hořáku vše nahřát na pájecí teplotu a vše opatrně zalít několika kapkami pájky.

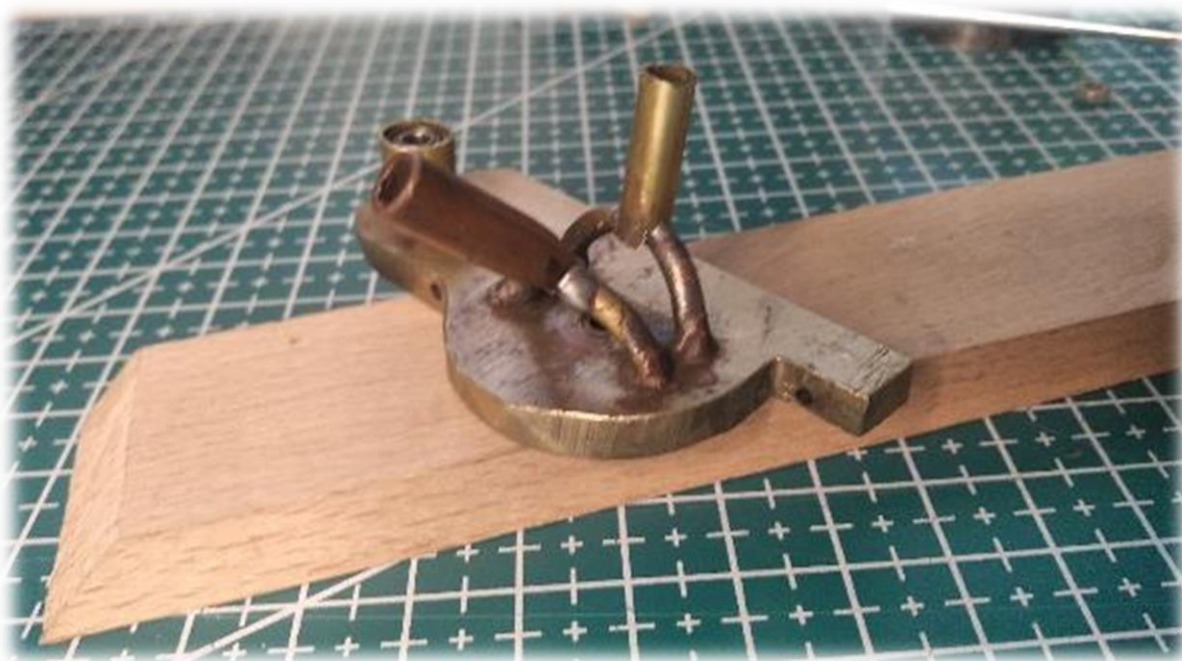
Po důkladném vyčištění a zkontrolování přišla chvíle, kdy se mělo ověřit, zda se O-kroužek protáhne a správně srovná a bude těsnit. Po důkladném naolejování a za pomoci pinzety se tam nakonec dostal a těsnil, takže tato konstrukce se ukázala jako funkční.

4.2.5 Tělo strojku

Byl vzat kousek 5 mm mosazného plechu a začaly se rozměřovat díry, které je třeba vyvrtat. Protože se to úplně nedařilo podle představ, přešlo se na jiný způsob, nejprve bylo vše nakresleno na papír, který byl následně přilepen na samotný plech, což se ukázalo jako funkční řešení, samozřejmě zde bylo třeba využívat navrtávků, aby díry byly co nejpřesněji umístěny, přesně tam, kde mají být. Po vyvrtání všech děr se naohýbaly dva oblouky z 3 mm mosazné trubičky a přesně podle plánu byly dle klasického postupu naměkko připájeny na svá místa, stejně tak i trubka, ve které budou uložena ložiska. Tím se pro tuto chvíli ukončily práce na těle strojku a přešlo se k následující součásti.



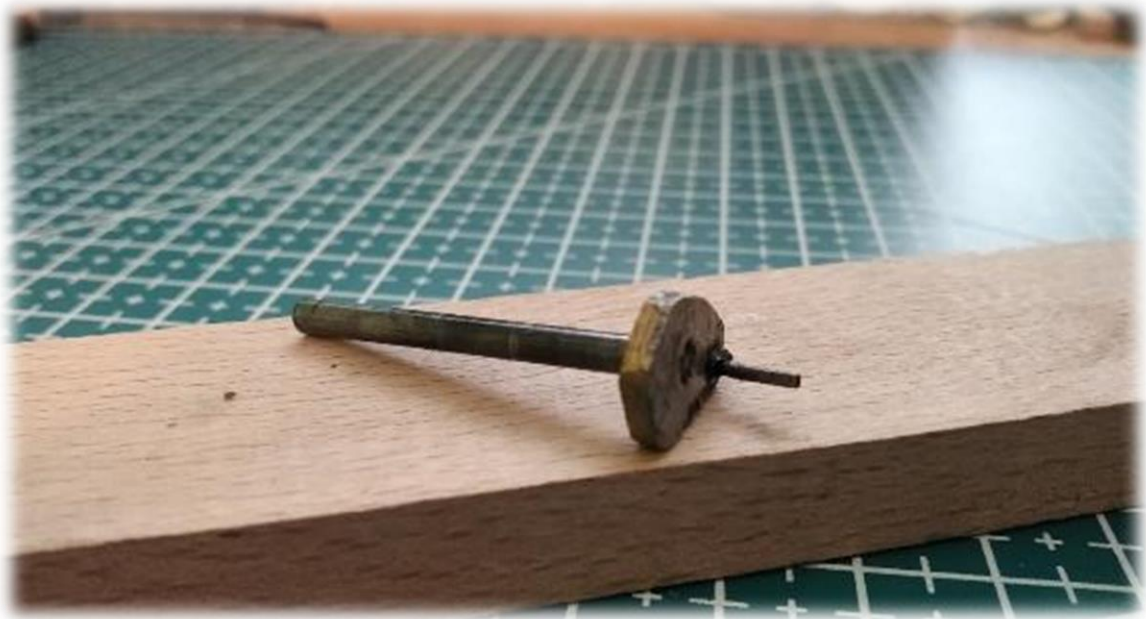
Obrázek 34: Přední strana těla strojku



Obrázek 33: Zadní strana těla strojku

4.2.6 Kliková hřídel

Jednoduchá součást, která byla rychle hotova. Z 3 mm silného mosazného plechu se vyříznul obdélníček, do kterého se vyvrtaly dvě díry, mezi středy od sebe vzdálené přesně 6 mm. Jedna o průměru 3 mm a druhá o průměru 1,5 mm, následně se uřízl kousek 3 mm ocelové tyče a kousek mosazného drátu tlustého 1,5 mm a vše se očistilo, nanasla se pájecí kapalina a vše se spájelo. Poté jen zbývalo pomocí pilníku mírně upravit obdélníkový tvar na vhodnější a bylo možno přejít na poslední část strojku.



Obrázek 35: Kliková hřídel

4.2.7 Setrvačnick

Jako poslední zbývalo vyrobit setrvačnick, jednoduchý akumulátor mechanické energie, který dostane strojek přes jeho úvratě. Polotovarem byla mosazná kulatina o průměru 26 mm, vyvrtala se do ní 3mm díra a celé toto bylo naklepáno do silnostěnné ocelové trubky 32 x 3, vše běželo velice čistě. Zbývalo jen vyvrtat díru a udělat do ní závit M3, aby setrvačnick mohl být zajištěn pomocí stavěcího šroubu k hřídeli.



Obrázek 37: Setrvačnick



Obrázek 36: Složený strojek

4.2.8 Kompletace a první rozběh

Teď již nezbývalo nic jiného než sestavit celý strojek a zjistit, zda funguje. Na klikovou hřídel byla uložena dvě kuličková ložiska, stejně tak setrvačnick. Byl sestaven zbytek strojku a na přívod páry, v tomto případě vzduchu, byl nasazen kousek silikonové hadičky a z kompresoru byl pomalu napouštěn tlakový vzduch.



Obrázek 38: Hotový válec s víky

4.3 Výroba kotle

Když byl již zdárně hotov parní strojek, následovala tvorba kotle. Hlavní výzvou zde bylo správně spájet natvrdo všechny spoje

Začalo se tím nejjednodušším, nařezaly se všechny části měděných trubek dle nákresu, vše bylo řádně očištěno a byly vyvrtány celkem 3 díry do plamencové trubky $\text{Ø } 22 \text{ mm}$ a jimi prostrčeny kousky měděné trubky o vnějším průměru 6 mm, které byly pomocí kuželové části důlčíku roztemovány, aby se všechny případné spáry mezi materiály uzavřely. Dále byly také vyvrtány pomocí stupňovitého vrtáku do hlavní trubky kotle díry, kudy bude vycházet konec plamencové trubky, tedy v podstatě komín. A tak jediné, co zbývalo vyrobit, byla pouze čela kotle a mohlo se jít pájet.

4.3.1 Výroba čel kotle

Již od začátku se počítalo s tím, že místo toho, aby se složitě sháněl tlustý měděný plech, bude použito raději kousku trubky, který se narovná. Vzal se tedy zbytek trubky, který zbyl po odříznutí, odřezek se rozřízl na dva díly a ty se ještě jednou podélně rozřízly a narovnaly, tak aby se získalo dostatečné místo na kružnici o průměru 55 mm, která tam byla také pomocí lihového fixu obkreslena a následně pomocí nůžek na plech vystříhnutá.

Touto metodou byla získána dvě trochu prohnutá kolečka měděného plechu, ale ty k požadovanému tvaru měly daleko, takže se musel nějakým způsobem ohnout plech do správného tvaru s relativní přesností. Jelikož by s největší pravděpodobností plech namáhání nevydržel, tak se musí vždy po nějaké době ohýbání vyžít, aby neprasknul (kompletní postup

žihání je popsán v odstavci 4.3.1.2). Plech se tedy měl podle plánu ohýbat okolo dřevěné formy, která se tudíž musela vyrobit.

4.3.1.1 Výroba formy

Bylo známo, že když všechno půjde dobře, bude forma pouze na pár použití. Základem byl kus bukového dřeva, pomocí korunkového vrtáku průměru 54 mm do něho byla vyvrtána díra, ale použito bylo jen to kolečko, které vrták vytvořil, to se upnulo do soustruhu, osoustružilo na průměr 37 mm, na jedné straně se opatrně pomocí rašple vytvořil rádius a jednoduchá forma byla hotova.

4.3.1.2 Samotné ohýbání

Když byla tedy forma hotova, byl ve svěráku pomocí 100g kladívka postupně ohýbán plech. Vždy, když to již vypadalo, že se vynakládá moc velké úsilí na ohnutí plechu, přestalo se, plech se vyžíhal a pokračovalo se dále, až do chvíle, kdy už se zdálo, že se práce již neposouvá a plech vypadal přesně tak, jak by měl. Byl vzat i s formou a opatrně upnut do soustruhu, kde byla lehce osoustružena ta plocha, která má přímý kontakt s trubkou a pokračovalo se do té doby, než celé víko nešlo zasunout do hlavní trubky. Jedno víko bylo hotové, druhé bylo vyrobeno úplně stejným postupem, jen úplně na konci se po osoustružení ještě vyvrtala díra průměru 22 mm, kudy povede plamencová trubka.

4.3.1.3 Proces žihání

Žihání mědi a její slitin se provádí v celku jednoduše, na rozdíl od ocelí se měď nedá zakalit, takže daná věc se vzala, nahřála se plynovým hořákem, až celá byla rozžhavená do tmavě červené (třešňové) a pak se schladila ve vodě, důležité je, aby nahřívání bylo rovnoměrné.

4.3.2 Parní dóm

V modelářském měřítku je to spíše estetický prvek než nezbytná součást kotle. Výroba byla jednoduchá. Vzalo se měděné uzavírací víčko o průměru 22, které bylo opilováno tak, aby spodní hrana přesně kopírovala hlavní trubku, aby seděla úplně dokonale. Pak byla pomocí smirkového papíru omotaného kolem hlavní trubky dobroušena. Pak se již jen z boku vyvrtala díra pro trubku, kterou bude pára opouštět kotel.

4.3.3 Příprava na pájení.

Od začátku bylo jasné, že celé pájení nepůjde zvládnout najednou, že se bude muset rozdělit na více fází. Prvně se budou muset připájet příčné trubičky do plamencové trubky a samotnou plamencovou trubku připájet do hlavní trubky, následně připájet parní dóm, matici pro pojistný šroub a trubičku na přívod vody do kotle a jako úplně poslední připájet přední a zadní víko.

4.3.4 Pájení

Jelikož nebyl k dispozici autogenový hořák, který by byl ideální na tato relativně velká pájení natvrdo, muselo se vymyslet něco jiného. K dispozici byl jeden kartušový propanbutanový hořák a také kempingový jednoplotýnkový hořák. Padlo rozhodnutí to spojit a vše fungovalo

až nečekaně dobře. Začalo se tedy plamencovou trubkou, byla seskládána nejprve na sucho a do všech kontaktních míst bylo nanášeno tavidlo, následně se celá součást položila na plotýnkový hořák a přehřívala se pomocí druhého hořáku, pracovní teploty se dosáhlo velice rychle, a tak první kus byl hotov, jen se po spájení nechal vychladnout a očistil se od vzniklého oxidu mědi, který pokrýl povrch. Tímto postupem se postupně spájely i zbylé spoje, kupodivu se nevyskytly žádné vážné komplikace, a tak stačilo jen vše naposledy očistit, zvenku pomocí ocelové vlny a vnitřek pomocí kyseliny fosforečné, používané také jako odrezovač.



Obrázek 39: Spájený kotel z boku



Obrázek 40: Spájený kotel zepředu

4.3.5 Tlakové zkoušky

Kotel byl spájený, ale nebylo známo, zda je těsný a bezpečný, tak byl podroben několika zkouškám. První a tou nejjednodušší bylo to, že byl naplněn lihem, tedy kapalinou s nízkou

viskozitou, následně byl položen na papírový ubrousek a bedlivě sledován, zda někde líc nevytéká. Při první zkoušce se projevila jedna vada. Spoj byl přepájen a další test dopadl úspěšně.

Druhá zkouška již byla tlaková. Byly utěsněny všechny otvory do kotle mimo jednoho, napuštěn kbelík s vodou a vložen do něj kotel a začal se pomalu tlakovat pomocí kompresoru, až na 1,5 x násobek provozního tlaku, tedy přibližně 4 bary. Přitom se sledovalo, zda někde neuniká vzduch, nikde neutíkal.

Poslední zkouška měla za cíl ověřit, zda správně funguje bezpečnostní ventil, takže nastalo pozorování, při jakém tlaku se ventil otevře a začne upouštět, i tato zkouška dopadla na výbornou a kupovaný ventil fungoval přesně tak jak má, tedy vždy se otevřel při přibližně 2,5 barech, tudíž se mohlo směle prohlásit, že v rámci možností je tento kotel bezpečný a mohlo se pomalu a jistě začít se zkouškami s párou.

4.3.6 Izolace

Další prací na kotli, kterou bylo potřeba udělat, byla izolace kotle, aby se co nejvíce zamezilo tepelným ztrátám. Jako izolační materiál se použil 2 mm keramický papír, který zbyl z předešlého projektu. Pomocí hliníkové pásky byl postupně nalepován ve dvou vrstvách na kotel, a nakonec se ještě vše přelepilo samotou hliníkovou páskou, aby vše drželo na svém místě.



Obrázek 41: Zaizolovaný kotel

4.3.7 Zapojení čerpadla

Následovalo zapojení čerpadla, v podstatě stačilo jen připojit čerpadlo pomocí silikonových hadiček ke kotli. Z čistě mechanické části bylo hotovo, ještě zbývalo zapojit elektronickou část a nastavit čerpadlo tak, aby mohlo běžet trvale, ale nedodávalo do kotle nadměrně vody. Pomocí

změny napětí se mohlo měnit množství čerpané vody, nakonec se skončilo na průtoku přibližně 12 mililitrů za minutu, což se v praxi ukázalo jako optimální hodnota.

4.4 Úprava kupovaného hořáku

Poslední, co zbývalo před samotnou kompletací celé strojovny, byl už jen hořák. Zde byla uříznuta původní trubka, připájela tam místo ní nová měděná, která již byla ohnuta do požadovaného tvaru tak, aby co nejlépe využila prostor v trupu. U těchto naměkko pájených spojů bylo obzvláště hleděno na to, aby spoj byl co nejdokonalejší.



Obrázek 42: Upravený hořák

4.5 Sestavení kompletní strojovny

Teď stačilo jen celou strojovnu naskládat do trupu, propojit vše pomocí tlustostěnných silikonových hadiček, vyrobit jednoduchá zajištění, aby se jednotlivé součásti nemohly volně pohybovat a mohlo se jít testovat.

4.6 Testování

4.6.1 První parní test

Začalo se tím, že se naplnil kotel vodou, zažehl hořák a čekalo se. Čerpadlo se nepouštělo, na krátký test nebylo třeba. Po zhruba dvou minutách již začala voda v kotli vřít, což se začalo projevovat prvními kapkami vycházejícími z výstupu kotle a samozřejmě přes silikonovou hadičku bylo vidět, jak se již na jejích stěnách začíná pára kondenzovat. Po pár sekundách přišel první pokus protočit strojek a opravdu se rozběhl, v tu chvíli pracoval hořák zhruba na poloviční výkon a strojek bez zátěže již pracoval ve vysokých otáčkách. Celé toto dílo ještě pár minut běželo, aby se ověřilo, zda dokáže pracovat po delší dobu, a nakonec se vše cíleně zastavilo.

4.6.2 Ladění vzdálenosti mezi kotlem a hořákem

Při dalších testech se začalo projevovat to, že komínem kotle uniká relativně hodně tepla, což samozřejmě přímo snižuje výkon celého zařízení. Takže následovala klasická metoda pokus-omyl, kdy se měnila vzdálenost mezi kotlem a hořákem a sledovalo se, jakou teplotu má výfuk z komína kotle a naopak, jestli už zase hořák nezahřívá zbytečně moc vzduchu před hořákem. Nakonec byla získána velice dobrá pozice, díky níž se zvýšil celkem razantně výkon kotle, a tedy i výkon strojku.



Obrázek 44: Pohled na loď



Obrázek 43: Pohled do útrob loď

4.6.3 První test na vodě

Testování na souši bylo dost, vyzkoušeny byly všechny systémy a byla i získána důvěra v celé ústrojí, tudíž byla lodička vzata k nejbližší vodní ploše, tedy k řece Radbuze. Lodička byla položena na vodu, zapnuto čerpadlo, aby se dostala nějaká voda do kotle, a následně zapnut i samotný hořák, rovnou na plný výkon. Po pár minutách již voda začala vřít a následně, když již byl dostatečný tlak v kotli, se rozběhl strojek a lodička vyplula. Její rychlost nebyla závratná, odhadem 1-1,5 metru za sekundu. Po zhruba 15 minách byl test úspěšně ukončen.

4.7 Finální úpravy

Z nabytých zkušeností při testování, bylo ještě provedeno několik změn.

4.7.1 Zvýšení hmotnosti setrvačnicku

Při testech se nejdříve projevilo, že setrvačnick je moc lehký, strojek neběžel hladce a celkově měl malý výkon. Na soustruhu byl obroben kousek ocelové trubky a ten byl nalisován na stávající setrvačnick. Tato úprava velice pomohla, sice mírně klesly otáčky strojku, ale za to se velice zvýšil moment strojku.

4.7.2 Přitlačná pružina

Dalším problémem, který se při testech projevil, byly nedostatečná síla pružiny přitlačující válec. Použita totiž byla pouze tlačná pružina z propisovačky, a tak i při velkém přitáhnutí pomocí matice k tomu určené, nepůsobila dostatečnou silou, aby zabránila páře k podfukování mezi tělem strojku a válce. Tato pružina byla vyměněna za silnější, což velice pomohlo, množství páry ucházející tímto spojením se zmenšilo, tudíž i celková spotřeba páry klesla.

4.7.3 Vložení teflonové třecí plošky

Dalším problémem bylo to, že aby správně těsnil spoj mezi válcem a tělem strojku, musela být pružina velice dotažená, a to způsobovalo nezanedbatelné tření, proto byl na třecí plošku těla přilepen pomocí lepidla na tvrdé plasty kousek 0,5 mm teflonového plechu, který má velice nízký součinitel tření, a problém se tím v rámci možností vyřešil.



Obrázek 45: Testování na řece

5 ZÁVĚR

Celý projekt je možno považovat za úspěšný, byla vytvořena parní strojovna, která je schopna samostatné činnosti uvnitř lodního trupu a je originálním dílem autora. Přístup k řešení byl spíše empirický, kdy byly počítány jen některé rozměry a celý plán byl realizován průběžně pomocí dílenských náčrtků. Finální výrobek je plně funkční, cíle byly splněny, byly získány potřebné první zkušenosti a parní strojovna může být základem dalšího zlepšování a pokročilejších konstrukcí.

5.1 Výsledné parametry strojovny

Tabulka 4: Parametry strojovny

Objem kotle	80 cm ³
Objem plynové nádrže	60 cm ³
Výkon hořáku	800 W
Vrtání válce	9 mm
Zdvih pístu	12 mm
Hmotnost strojku	120 g
Celková hmotnost (bez vody)	950 g

5.2 Možnosti do budoucna

Myslím si, že tato strojovna je v rámci možností plně hotová a funkční, tedy až na možnosti mazání samotné páry. Tímto problémem se tato práce vůbec nezabývala, a tak namísto zlepšování konstrukce má do budoucna větší smysl stavba další strojovny, lepší, kde by se již mohl použít spíše šoupátkový parní strojek a kde by bylo možné uplatnit všechny nabyté zkušenosti z tohoto projektu.



Obrázek 46: Loď v pohybu

6 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] KLÁG, Josef. Parní stroje. 2. vydání. Praha: SNTL, 1958.
- [2] VORÁČEK, Jiří. Parní lodě 1. 2002. ISBN 80-86067-70.
- [3] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 6. vydání. Úvaly: ALBRA, 2017. ISBN 978-80-7361-111-8.
- [4] RODA, Antonín. *Parní motory*. Praha: Státní nakladatelství v Praze, 1948.
- [5] Wikipedia contributors, "Steam engine," *Wikipedia, The Free Encyclopedia*, https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Steam_engine&oldid=1140412202 (accessed February 20, 2023).
- [6] Oscilační strojek. In: Model Engineer - Forum [online]. Lincolnshire [cit. 2023-03-01]. Dostupné z: <https://www.model-engineer.co.uk/forums/postings.asp?th=34213>.
- [7] Keramický plynový hořák. In: Home Model Engine Machinist [online]. [cit. 2023-03-04]. Dostupné z: <https://www.homemodelenginemachinist.com/threads/making-a-simple-ceramic-burner.24235/page-2>.
- [8] Šoupátkový strojek. In: PM Research [online]. Wellsville, NY 14895 USA [cit. 2023-03-01]. Dostupné z: <https://www.pmodelengines.com/shop/steam/steam-engines/steam-engine-1/>.
- [9] Schéma teploty propan-butanového hořáku. In: SZŠ Hradec Králové - výuka [online]. VOŠ zdravotnická a SZŠ, Hradec Králové [cit. 2023-03-01]. Dostupné z: <https://lat.zshk.cz/vyuka/zahrivani-chlazení.aspx>.
- [10] Schéma peristaltického čerpadla. In: Albin pump - News [online]. Albin pumps [cit. 2023-03-01]. Dostupné z: <https://www.albinpump.com/en-us/news/how-peristaltic-pumps-work>.
- [11] Vybraný hořák. In: Hornbach e-shop [online]. HORNBACH BAUMARKT. Praha [cit. 2023-03-01]. Dostupné z: <https://www.hornbach.cz/p/pajeci-horak-cfh-fb-131/5203469/>.
- [12] RAŽNJEVIČ, K.: Termodynamické tabulky, Bratislava: Alfa 1984
- [13] James Stanley. In: Oscillating engine simulation [online]. Incoherency. [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://incoherency.co.uk/oscillating-engine/>

7 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázek 1: Oscilační strojek [6].....	9
Obrázek 2: Princip oscilačního parního stroje [5].....	9
Obrázek 3: Princip šoupátkového stroje [5]	10
Obrázek 4: Šoupátkový strojek [8]	10
Obrázek 5: Válcový kotel s vodními trubkami [2]	11
Obrázek 6: Válcový kotel žárotrubný [2]	11
Obrázek 7: Stojatý kotel žárotrubný [2]	12
Obrázek 8: Hořák s kuželovým plamenem.....	13
Obrázek 9: Keramický plynový hořák [7]	13
Obrázek 10: Soustruh.....	14
Obrázek 11: Vybraný hořák [11]	15
Obrázek 12: Náčrtek hořáku	15
Obrázek 13: Náčrtek kotle	16
Obrázek 14: Schéma teploty plamene propan-butanového hořáku [9].....	16
Obrázek 15: Schéma peristaltického čerpadla [10]	18
Obrázek 16: Peristaltické čerpadlo	19
Obrázek 17: Pojistný ventil.....	19
Obrázek 18: Schéma oscilačního strojku.....	20
Obrázek 19: Náčrtek tlakového diagramu pro šoupátkový parní stroj [1]	22
Obrázek 20: Tlakový diagram oscilačního parního stroje [13]	23
Obrázek 21: Náčrtek spodního víka.....	26
Obrázek 22: Náčrtek pístu a klikové hřídele	27
Obrázek 23: Náčrtek horního víka a setrvačnicku.....	27
Obrázek 24: Náčrtek válce a těla strojku	27
Obrázek 25: Sestava strojku	28
Obrázek 26: Rozložení strojovny	29
Obrázek 27: Materiál	30
Obrázek 28: Válec strojku	31
Obrázek 29: Pohled do válce	32
Obrázek 30: Třecí ploška válce	32
Obrázek 31: Píst.....	33
Obrázek 32: Horní víko	34
Obrázek 33: Zadní strana těla strojku	35
Obrázek 34: Přední strana těla strojku	35
Obrázek 35: Kliková hřídel.....	36
Obrázek 36: Složený strojek	37
Obrázek 37: Setrvačnick.....	37
Obrázek 38: Hotový válec s víky.....	38
Obrázek 39: Spájený kotel z boku	40
Obrázek 40: Spájený kotel zepředu	40
Obrázek 41: Zaizolovaný kotel.....	41
Obrázek 42: Upravený hořák	42

Obrázek 43: Pohled do útrobu lodě	43
Obrázek 44: Pohled na loď	43
Obrázek 45: Testování na řece.....	44
Obrázek 46: Loď v pohybu.....	45
Tabulka 1: Vysvětlivky k výpočtům kotle.....	18
Tabulka 2: Vysvětlivky k výpočtům parního strojku	25
Tabulka 3: Tabulka materiálů	30
Tabulka 4: Parametry strojovny.....	45