

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor č. číslo oboru: 9. Název oboru: Strojírenství, hutnictví a doprava

Výroba spalovacího motoru FELGIEBEL a jeho zapalování

**Daniel Škop
Olomoucký kraj**

Přerov 21. 3. 2021

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor č. číslo oboru: 9. Název oboru: Strojírenství, hutnictví a doprava

Výroba spalovacího motoru FELGIEBEL a jeho zapalování

Production of internal combustion engine FELGIEBEL and its ignition

Autor: Daniel Škop

Škola: Střední průmyslová škola, Přerov, Havlíčkova 2, 750 02

Kraj: Olomoucký kraj

Konzultant: Ing. Ivana Horáková

Přerov 21. 3. 2021

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 zpřístupnění 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 Přerov dne 21. 3. 2021

Poděkování

Touto cestou bych chtěl poděkovat předně mé škole, bez níž by byl tento projekt nerealizovatelný. Dále zaměstnancům školy, panu Miroslavu Haškovi a panu Liborovi Mikocziovi, kteří mě podporovali materiálově i možnostmi trávit čas ve školních dílnách, nad rámec výuky. Dále bych chtěl poděkovat prodejně autodílů, již mi pomohla s opatřením honovací hlavy a miniaturní zapalovací svíčky. Panu Jiřímu Dobšíkovi, který mi opatřil kontakty na zapalování. Panu Miloslavovi Rozsípalo, od něžž mám elektronické zapalování a vrtuli. Dále Technickému bazaru v Přerově, kde jsem měl možnost sehnat běžné i atypické strojní vybavení. Firmě Buzuluk, která mi zajistila pístní kroužky a pánům Petru Chvátalovi a Květoslavu Štorkovi, kteří mi pomohli se zapalováním. Dále bych chtěl poděkovat panu Michalu Sloupovi, který mi dal rady ohledně konkrétní výroby některých částí motoru a panu Michaelu Vosikovi a Jardovi Pipkovi, kteří mi opatřili výkresovou dokumentaci k motoru. Chtěl bych poděkovat i panu Pavlu Pastyříkovi, jenž mi zapůjčil zapalování pro první oťukávání motoru. Díky patří i lidem na stránce MHEM (home model engine machinist), kde jsem měl možnost celou stavbu motoru průběžně zveřejňovat a konzultovat. Mé poděkování míří i k Janu Krátkému, který bohužel během stavby motoru zesnul. Byl mi oporou hlavně ohledně úpravy kanálů kvůli zvětšení obsahu motoru. Nakonec bych chtěl poděkovat Jitce Machové, která mou práci zkontrolovala ohledně gramatické správnosti.

Anotace

Tato práce se zabývá postupem výroby historického zážehového leteckého spalovacího motoru zhotoveného amatérsky, jehož konstrukce pochází ze 40. let 20. století. Dále se zabývá zhotovením funkční repliky zapalování. Motor i zapalování byly zhotovovány v rámci možností obdobným způsobem jako originály.

Klíčová slova

Spalovací motor; výroba zapalování; jednoválcový zážehový motor

Annotation

This work deals with the production process of a petrol, aircraft, historical and amateur-made internal combustion engine, the construction of which dates from the 1940s. It also deals with the manufacture of a replica of the ignition. The engine and ignition were made as far as possible in a similar way as the originals.

Keywords

Combustion engine; ignition production; single - cylinder petrol engine

Obsah

1	Úvod.....	6
2	Historie vzniku modelářských spalovacích motorů konstrukce typu Felgiebel	6
3	Jak motor Felgiebel funguje?.....	7
4	Popis stavby spalovacího motoru Felgiebel.....	9
4.1	Přípravné práce.....	9
4.2	Výroba válce	9
4.3	Výroba hlavy válce	19
4.4	Výroba klikové skříně	20
4.4.1	Zhotovení pozitivního modelu klikové skříně	20
4.4.2	Obrábění klikové skříně.....	26
4.5	Klikový hřídel	27
4.6	Ojnice	28
4.7	Píst.....	29
4.8	Víko klikové skříně	30
4.9	Karburátor	31
4.10	Přerušovač	32
5	Kompletace motoru.....	33
6	Výroba zapalování	37
7	Závěr	40
8	Použitá literatura	41
9	Seznam obrázků a tabulek	41

1 ÚVOD

Cílem mé práce bylo vytvoření funkčního spalovacího motoru konstrukce typu Felgiebel, včetně jeho dobového zapalování. Na motor byly kladeny požadavky, aby byl plně funkční a také aby jeho výsledná podoba na první pohled dokazovala, že se nejedná o sériově vyrobený kus.

2 HISTORIE VZNIKU MODELÁŘSKÝCH SPALOVACÍCH MOTORŮ KONSTRUKCE TYPU FELGIEBEL

Motor, jenž byl předlohou pro můj motor, je dvoudobý, zážehový, spalovací, jednoválcový historický motor, jehož vznik se datuje rokem 1936. Konstruktorem tohoto motoru je jistý A. Felgiebel. Dostupné prameny již bohužel neuvádějí, jak se autor motoru jmenoval celým svým jménem. Jisté však je, že to byl německý konstruktér. Celkem navrhl dva motory, jež se příliš nelišily svou konstrukcí. Způsob vyplachování a celkové konstrukční řešení bylo stejné, motory se lišily zejména zdvihovým objemem. První motor pocházející z roku 1936 měl zdvihový objem 7,6 ccm. Jeho celková hmotnost činila bez zapalování a akumulátoru 270 g. Motor byl osazen běžnou automobilovou zapalovací svíčkou a měl docela malá a daleko rozestoupená chladicí žebra, jež motoru nedovolovala jeho ideální chlazení. Výkon tohoto motoru činil 0,18 ks, což je asi 0,132 kW. Roku 1939 byl navržen druhý motor, jenž byl pojmenován jako Felgiebel Typ II. Tento motor kopíroval konstrukci motoru z roku 1936, ovšem měl zvětšený zdvihový objem na 14,3 ccm. Váha motoru bez zapalování a akumulátoru činila 480 g. Jeho výkon byl 0,32 ks, což odpovídá již 0,235 kW. Také měl malá chladicí žebra a také na něm byla užitá automobilová zapalovací svíčka, která již ovšem z motoru nevyčnívala tak moc jako na prvním menším motoru. Motor pocházející z roku 1936 byl dodatečně pojmenován jako Felgiebel Typ I.

Roku 1941 převzal konstrukci motoru Felgiebel český konstruktér, vlastním jménem T. Kyzlink. Jeho jméno není bohužel stejně jako v případě A. Felgiebela známo celé. Tento konstruktér za protektorátu Čechy a Morava i přes zákaz zpracovávání kovů za účelem jiným, než vojenským, zhotovil oba typy motorů jak Typ I, tak i Typ II a provedl na nich jisté úpravy, které vedly k zvednutí maximálního výkonu a zároveň k dosažení lepšího estetického vzezření. Úpravy se týkaly především zvětšení plochy chladících žebor, osadil navíc žebry i hlavu válce. Dále použil modelářskou zapalovací svíčku se závitem M10x1, která již působila na motoru přirozenějším dojmem. Motoru nesoucímu název Typ I se předně díky lepšímu chlazení zvedl maximální výkon z 0,18 ks na 0,22 ks (z 0,132 kW na 0,162 kW) a motoru Typ II z 0,35 ks na 0,42 ks (z 0,235 kW na 0,309 kW). Oba motory po Kyzlinkově úpravě dosahovaly s vhodnými vrtulemi 6000 otáček. Úpravy provedené panem Kyzlinkem se týkaly i praktického užití motorů. Například odstranil šroub nacházející se na spodní části klikové skříně, který měl podle původního návrhu sloužit k vypuštění paliva z prostoru klikové skříně v případě zahlcení motoru palivem. Tento šroub se totiž v průběhu testů ukázal jako zbytečný.

O motorech Felgiebelovy konstrukce bylo celkem sepsáno asi 6 publikací, z toho 1 byla vydána s rozsáhlými úpravami roku 1941 i v češtině, nakladatelstvím Šolc a Šimáček společnost s ručením omezeným. Zbýlých 5 publikací se zabývalo původní konstrukcí motorů, sahající pouze do roku 1939. Tyto publikace vyšly pouze v německém jazyce.

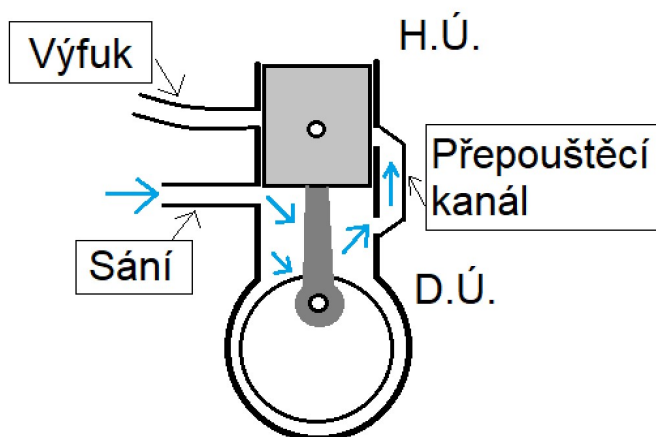
3 JAK MOTOR FELGIEBEL FUNGUJE?

3.1 Vyplachování motoru

Motor Felgiebel je dvoutaktní, to znamená, že je válec s pístem mazaný olejem přidaným do paliva. Olej v palivu maže i klikový hřídel a ojnici. Dvoutaktní motor Felgiebel má tzv. tříšterbinové vyplachování. U tohoto typu vyplachování je typické, že palivo musí procházet do přestupního kanálu na válci skrz okno v pístu. Zároveň motory s tímto typem vyplachování musejí mít na pístu deflektor. Deflektor na pístu paradoxně zhoršuje vyplachování válce (v porovnání s modernějšími typy vyplachování) a fakt, že palivo je sáno skrz píst do přestupního kanálku po velice omezenou dobu, způsobuje, že je tento způsob vyplachování již zastaralý. Praktickými pokusy na motorech je dokázáno, že motor s tříšterbinovým vyplachováním může vykonávat maximálně deset tisíc otáček za minutu. Dále již zvýšit počet otáček motoru nelze z výše uvedených nepřekonatelných důvodů. Má ovšem také přednosti, a sice malou náročnost na přesnost a spolehlivý chod.

3.1.1 Sání

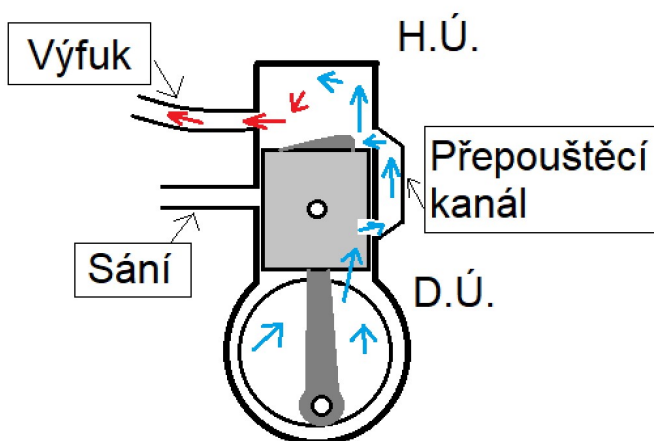
Píst jde z dolní úvrati do horní setrvačností vrtule a setrvačnicku. Přitom svým tělem uzavírá sací kanál do klikové skříně, takže se ve vnitřním prostoru klikové skříně začíná tvořit podtlak. Těsně před okamžikem, kdy se píst nachází v horní úvrati, se píst dostane svou spodní hranou až nad sací kanál a podtlak v klikové skříně nasaje do motoru vzduch strhávající s sebou palivo v karburátoru. Pohybem pístu z dolní úvrati do horní začne ve válci probíhat komprese paliva se vzduchem, což vytvoří výbušnou směs, která se po zapálení jiskrou vznítí.



Obrázek 1: Sání

3.1.2 Výfuk

Ve válci již proběhlo vznícení paliva a nyní nastává jeho expanze. Píst působením plynů vzníceného paliva začne konat přímočarý pohyb z horní úvratí do dolní. V klikové skříně, ve které je nyní ustálený atmosférický tlak, se začne tvořit tlak. Palivo se vzduchem ve vnitřním prostoru klikové skříně se začne stlačovat. Jakmile je píst těsně před dolní úvratí, tak odkryje svým dnem výfukový kanál a výfukové plyny jím začnou unikat ven z motoru. Jakmile je píst v dolní úvratí, tak může palivo z vnitřního prostoru klikové skříně jít skrz okno v pístu do přepouštěcího kanálu, zde se mírně předeheje a zplynuje. Následně se octne sacím kanálem těsně nad dnem pístu ve spalovacím prostoru motoru. Palivo koná vodorovný dopředný pohyb rovnoběžně s dnem pístu, ovšem po krátké době narazí na deflektor a kolmo se odrazí směrem k hlavě válce. Tím vytlačí zbylé výfukové plyny ze spalovacího prostoru a zároveň naplní spalovací prostor čerstvým palivem.

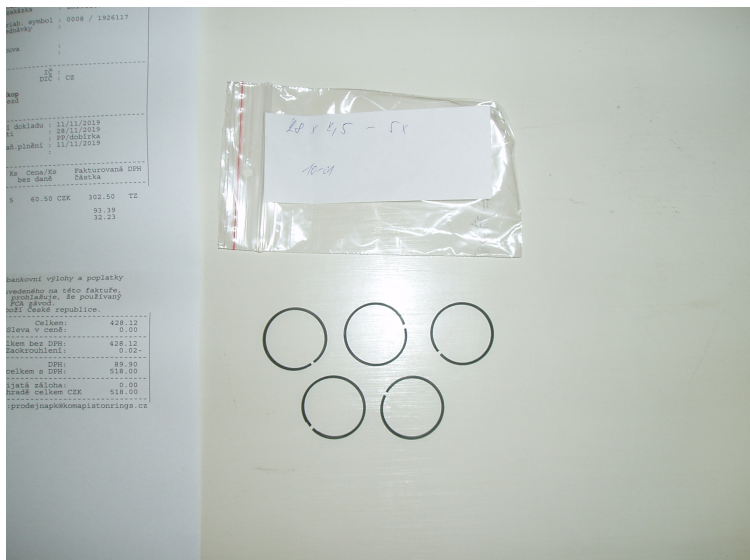


Obrázek 2: Výfuk

4 POPIS STAVBY SPALOVACÍHO MOTORU FELGIEBEL

4.1 Přípravné práce

Nejprve bylo potřeba sehnat kompletní výkresovou dokumentaci. Rozhodnout se, jaký konkrétní typ budu vyrábět a zaměřit se na nejobtížnější a nejdůležitější části motoru a od těch začít. Shledal jsem, že nejdůležitější součástí motoru jsou pístní kroužky. Rozhodl jsem se, že je pořídím již hotové. Nastal ovšem problém, kde koupit pístní kroužky na zcela atypický motor. S problémem mi pomohla firma Buzuluk, od které jsem zakoupil, po zhruba půlroční korespondenci, pístní kroužky určené pro vrtání válce 28 mm. Já se ovšem rozhodl vyrobit motor zvaný Typ II, jenž měl vrtání 26 mm. Upravil jsem tedy s pomocí již zesnulého Jana Krátkého rozvržení kanálů a konstrukci motoru pro použití většího vrtání válce. Spodní část motoru (kliková skříň, klikový hřídel) zůstala beze změn.



Obrázek 3: Pístní kroužky

Výkresovou dokumentaci jsem získal díky knize „Spalovací motorky pro letadélka“, v níž je dopodrobna rozepsaný postup výroby. Chybějící přílohy knihy, ve které se nachází výkresová dokumentace motoru, mi opatřil přes forum „Rcmania“ Michael Vosika.

4.2 Výroba válce

Jako první součást ze svého motoru jsem vyrobil válec. Považoval jsem ho za nejobtížnější vyrobitelnou součást. Kdyby se nepovedl, tak by to nevadilo vůči ostatním dílům. Protože jsem neměl moc obsáhlou zkušenost s kovoobráběním, tak mi výroba válce zabrala okolo 60 h. Vyráběl jsem ho z nástrojové oceli, válec byl se žebry vyroben z jednoho kusu. Žebra jsem soustružil obyčejným přímým upichovacím nožem, který jsem obrousil z původní šířky 4 mm

na 1,5 mm (mezera mezi žebry). Nůž se mi po upíchnutí 4. žebra zlomil, takže jsem byl nucený vybrousit takto úzké upichovací nože dva.



Obrázek 4: Válec s vysoustruženými žebry

Nejprve jsem do ocelové tyče o průměru 50 mm postupně vyvrtal otvor o konečném průměru 25 mm. Následně jsem vysoustružil žebra. Po vysoustružení žebor jsem na frézce vyrobil čtvercovou přírubu válce a následně jsem vysoustružil zbytek kontury válce.



Obrázek 5: Válec s přírubou a hotovou vnější konturou

Válec jsem ještě neupichoval od zbytku materiálu, zbývalo ještě vyfrézovat kanály. Ty jsem frézoval frézou o průměru 2,5 mm po 0,1 mm. Vyfrézování kanálů trvalo 7 h. Jedna fréza vystačila na 2 kanály, než se zlomila. Mohlo za to zřejmě její otupení.



Obrázek 6: Kanály



Obrázek 7: Kanály

Na válec nyní bylo potřeba vyrobit a přiletovat nátrubek karburátoru. Nátrubek je vysoustružen z ocelové tyče o průměru 14 mm.



Obrázek 8: Nátrubek karburátoru

Nátrubek je na styku s válcovou plochou válce rozšířen, z důvodů šířky kanálů. Při rozšiřování nátrubku byl problém s jeho praskáním. Nátrubek se musel roztahovat na trnu vyrobeném z 5 mm silné pásoviny a to za tepla (okolo 800 °C). Napoprvé mi to nevyšlo. Nátrubek se mi roztrhl, proto jsem musel vyrábět dva.



Obrázek 9: Nátrubek a trn



Obrázek 10: Roztržený první nátrubek



Obrázek 11: Oba dva nátrubky

Nyní zbývalo vyrobít přepouštěcí kanál a všechny tři části válce sletovat stříbrem dohromady. Přepouštěcí kanál je vklenutý do válce, aby již nemusel být přichycován jiným způsobem při letování.



Obrázek 12: Přepouštěcí kanál



Obrázek 13: Nátrubek a přepouštěcí kanál na válci

Válec jsem ještě vybavil přírubou pro výfuk, kterou originální motor postrádal. Přírubu jsem navrhl s normalizovanou roztečí otvorů, tak aby se dal na motor použít již sériově vyráběný

výfuk. Všechny letované součásti motoru bylo zapotřebí zafixovat proti pohybu. Na fixaci nátrubku bylo zapotřebí vyrobit přípravek z pásoviny. Nápad na jeho realizaci mi poskytl pan Michal Sloup.



Obrázek 14: Válec před sletováním



Obrázek 15: Válec před sletováním, pohled na výfuk

Válec jsem letoval stříbrnou pájkou, která má nižší tavící teplotu než mosaz a vyšší vzlínavost. I přes nižší teplotu tání nehrozí její rozletování vlivem činnosti motoru. Jako tavidlo jsem použil borax.



Obrázek 16: Válec po sletování



Obrázek 17: Válec po sletování

Jako zdroj tepla jsem použil benzínový hořák. Válec jsem pro udržení teploty dal mezi žáruvzdorné cihly. Letování bohužel nenávratně poškodilo vyleštěné plochy válce. I přes použití boraxu vznikly na válci okuje.



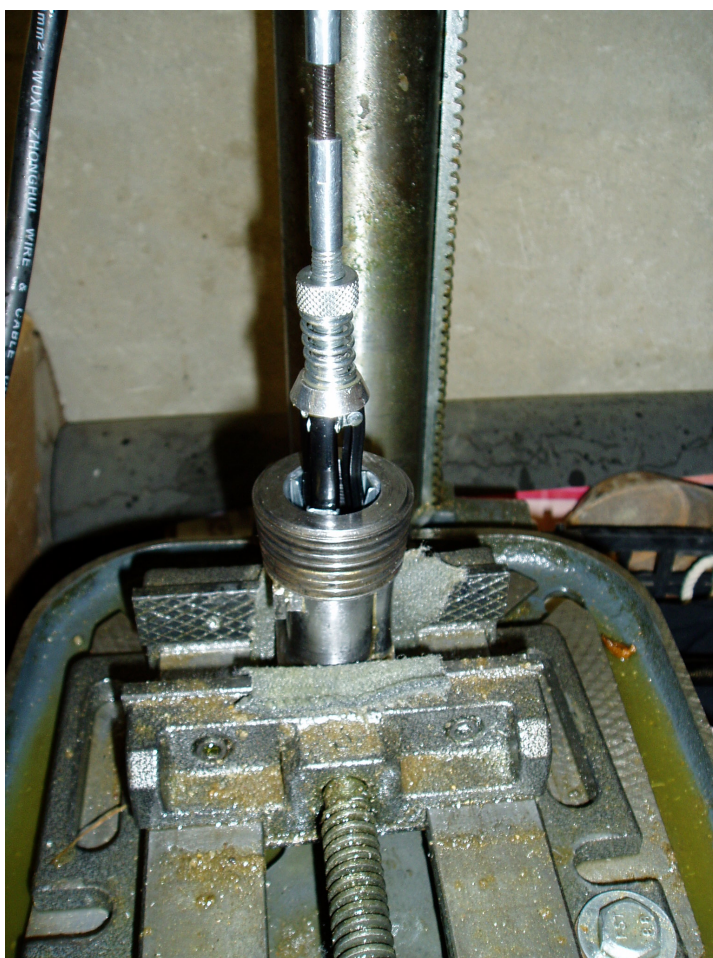
Obrázek 18: Válec po obroušení

Nyní bylo potřeba provést na válci výbrus. Škola mi poskytla stavitelné výstružníky, díky kterým jsem vystružil válec z průměru 25 mm na průměr 27,5 mm. Tak jsem si zajistil dokonale válcový tvar vnitřního prostoru válce motoru. Dokončovací operaci výbrusu válce jsem provedl s pomocí honovací hlavy.



Obrázek 19: Honovací hlava

Válec nemá výbrus válcovitý, nýbrž ve tvaru kužele. Směrem k hlavě válce se průměr válce zmenšuje o 0,03 mm na 70 mm. Čím blíže k horní úvrati píst motoru bude, tím menší vůli ve válci bude mít, v návaznosti na rostoucí kompresi motoru.



Obrázek 20: Honování válce

Výbrus jsem prováděl na stojanové vrtačce, brusné kameny jsem neustále mazal petrolejem s pískem. Bez použití písku nebyl po hodině honování znatelný žádný měřitelný rozdíl průměru vrtání. Honováním jsem docílil kuželovitosti válce, v oblasti dolní úvrati jsem se s honovací hlavou zdržoval déle. Honování bylo potřeba při kompletaci motoru ještě dvakrát zopakovat, protože měl píst příliš malou vůli ve válci.

Kuželovitost válce mi ve škole přeměřila na speciálním měřícím stroji paní učitelka Kateřina Nováková. Posuvným měřítkem s noniem jsem pochopitelně nedokázal zjistit, jestli se ze zamýšleného kužele nestal soudek.



Obrázek 21: Válec po výbrusu

4.3 Výroba hlavy válce

Hlava válce je vyrobená z běžného automatového hliníku. Nejprve jsem vysoustružil její vnější konturu a nechal jsem ji stejně jako válec spojenou se zbytkem materiálu. Následně jsem do ní vytvořil závit M10x1 na svíčku, udělal osazení pro klíč na svíčku a polotovaru na frézce vyfrézoval žebra. Žebra jsem frézoval HSS kotoučovou pilou o průměru 100 mm a šířce 1 mm.



Obrázek 22: Soustružená hlava válce



Obrázek 23: Hlava válce s vyfrézovanými žebry

4.4 Výroba klikové skříně

Protože mám zkušenosti s odléváním barevných kovů v domácích podmínkách, rozhodl jsem se pro odlití vlastní klikové skříně. Vyřešil jsem tím hned dva problémy, mohl jsem si klikovou skříně odlít s poupravenými rozměry z důvodů zvýšení obsahu motoru a zároveň jsem nemusel shánět klikovou skříně na takřka 80 let starý motor (existovaly sety s klikovou skříně a výkresovou dokumentací pro homemade dokončení, ovšem už jsou to rarity). Od začátku jsem byl rozhodnutý, že chci mít na své klikové skříně z čelní strany plastický nápis s názvem motoru „FELGIEBEL“ a iniciály stavitele motoru „DŠ“.

4.4.1 Zhotovení pozitivního modelu klikové skříně

Využil jsem moderních technologií, a tak jsem si model klikové skříně nechal vytisknout na 3D tiskárně. STL soubor s klikovou skříně jsem získal od jednoho nejmenovaného německého modeláře z fora MHEM (model home engine machinist). Model mi zbývalo vybavit písmeny která tvořila iniciály a jméno motoru. Pozitivní model klikové skříně byl k dispozici. Originální STL soubor s klikovou skříně jsem byl nucen manuálně zvětšit o několik desetin, kvůli smrštění kovu po odlití. Zvětšení se týkalo hlavně konstrukčně důležitých prvků. Model nešlo zvětšit kompletně naráz, protože se kov nesmršťuje všude stejně.

Písmena na klikovou skříně jsme vyrobil pomocí negativní voskové formy z karosářského tmelu. Udělal jsem si negativní voskovou formu, která kopírovala čelní stěnu klikové skříně a do ní jsem hrotem zrcadlově vyryl budoucí písmena. Ta jsem vyplnil tmelem a po jeho uschnutí jsem vosk rozpustil. Následně stačilo přilepit písmena na klikovou skříně.



Obrázek 24: Výroba negativní voskové formy



Obrázek 25: Rozpouštění negativní voskové formy



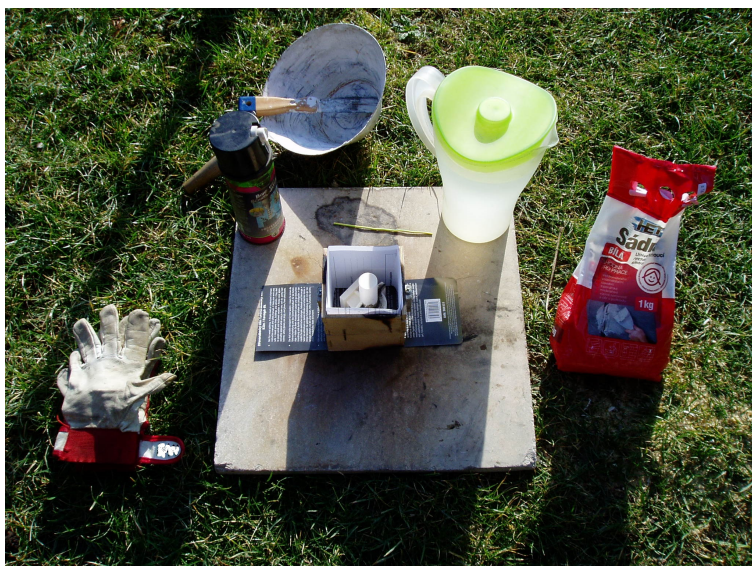
Obrázek 26: Hotový nápis "FELGIEBEL"



Obrázek 27: Hotový pozitivní model

4.4.2 Samotné odlévání klikových skříní

Odlitků jsem byl nucen odlít celkem 5. První byl odlit do sádrové formy. Se sádrou jsem měl již dříve pozitivní výsledky, ovšem to se týkalo pouze nejmenších detailních odlitků. U větších odlitků byl vždy problém s vlhkostí formy. Silné stěny formy jsem nedokázal perfektně vysušit. Chtěl jsem sádre dát šanci, protože odměnou mi mohl být perfektní povrch budoucího odlitku. Nechal jsem tedy sádrovou formu měsíc vysušit, následně jsem ji dal na 150 °C po dobu 3 h v troubě dovysušit (pozdvolný ohřev probíhal mimo uvedený časový interval). Před samotným odléváním jsem ji předehřál na teplotu 100 °C dvěma horkovzdušnými pistolemi, abych si zajistil, že se ve formě nebude během odlévání nacházet voda. Opak byl pravdou i přes popsané vysušování byla ve formě přítomna voda, a odlitek byl tudíž pórovitý.



Obrázek 28: Výroba sádrové formy

Do stejné formy jsem ještě ten den nalil druhou várku tekuté hliníkové slitiny, ovšem už byl narušen tvar formy vytahováním prvního odlitku. Nechal jsem si tento odlitek jako záložní, kdyby selhaly další způsoby odlévání.

Po potížích se sádrou jsem se uchýlil k použití pískových formovacích směsí. S nimi jsem ještě neměl příliš velikou zkušenost, hlavně co se týče jejich přípravy. Postupem času jsem shledal, že nejlepším ostřivem je jemný křemičitý písek s hrubostí zrn 0-0,8 mm. Jako pojivo je nejlepší tzv. bentonitový jííl. Nejtěžším úkolem je dokonale smíchat ostřivo s pojivem tak, aby pojivo nevytvořilo hrudky. I kvůli těmto obtížím jsem se zpočátku uchýlil k sádrovým formám.

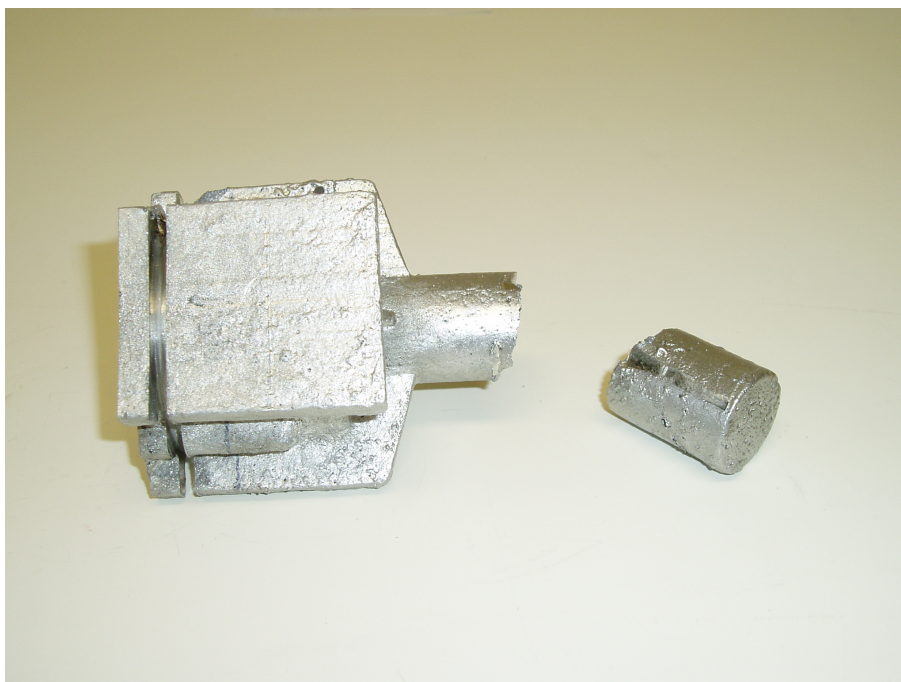
Třetí odlitek odlitý do pískové formy se již skutečně povedl, ovšem jak se později ukázalo, pouze tvarem. Slitina vyšla příliš hrubozrnná a křehká, a proto se odlitek během počáteční fáze obrábění zlomil. Musel jsem tedy odlít další, již 4. odlitek.



Obrázek 29: Příprava formovací směsi



Obrázek 30: Pohled do hotové pískové formy



Obrázek 31: 3. odlitek- křehký

U něj jsem bohužel špatně vysušil pískovou formu, a proto jsem začal opět bojovat s vlhkostí. Nápravou bylo zaformování a odlití 5. a konečně již posledního odlitku.



Obrázek 32: 5. Odlitek

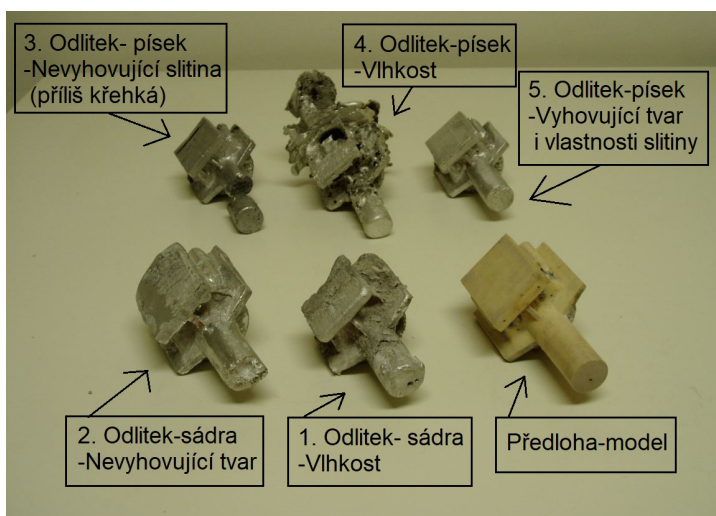
Zde je několik fotografií zachycujících postupné řešení obtíží s nekorektním chováním odlévaných klikových skříní. U pískových forem jsem začal užívat výše položený nalévací otvor, pro zvýšení hydrostatického tlaku tekuté hliníkové slitiny, což má za následek lepší zabíhavost slitiny.



Obrázek 33: Písková forma s komínkem



Obrázek 34: 2. a 5. Odlitek



Obrázek 35: Stručný popis všech odlitků

4.4.2 Obrábění klikové skříně

Klikovou skříň jsem obráběl na soustruhu a frézce. Na soustruhu byly nejprve vykonány všechny obráběcí úkony ležící na podélné ose klikové skříně: vyvrtání a vystružení otvoru pro klikový hřídel, vysoustružení prostoru pro setrvačnick klikového hřídele a ojnice. Následně jsem na frézce ofrézoval dosedací plochu pro zadní víko klikové skříně a dosedací plochu s osazením pro válec. Nakonec byly vyvrtány otvory pro budoucí závity šroubů a zalisováno bronzové kluzné ložisko pro klikový hřídel.



Obrázek 36: Vrtání otvorů pro připevnění zadního víka



Obrázek 37: Obrobená kliková skříň s klikovým hřídelem a vrtulovým unašečem

4.5 Klikový hřídel

Je vyroben z neušlechtilé oceli. Bohužel přesně nevím, o jakou konkrétní ocel se jedná, každopádně svému účelu posloužila. Klikový hřídel je vyroben z jednoho kusu materiálu. Z původního polotovaru bylo osoustruženo přes 90 % materiálu. Ojniční čep je vyroben pomocí přípravku uvádějícího klikový hřídel v excentrický pohyb. Ojnice je proti axiálnímu posunu zajištěna vnější segrovkou, proto je na ojnicím čepu zápich. Vrtulový unašeč je na klikovém hřídeli upevněn pomocí Morse kužele.



Obrázek 38: Polotovary klikového hřídele s vrtulovým unašečem



Obrázek 39: Přípravek na výrobu ojnicího čepu

4.6 Ojnice

Je vyrobena z „klínovice“. Její průřez je mírně rozšířen do stran, kvůli vyšší únosnosti. Oka mající mazací otvory, jsou vypouzdřena bronzovými kluznými ložisky. Celá ojnice je obráběna na frézce, její konečná šířka je dobroušena na smirkovém papíře. Bylo potřeba vyrobít 3 ojnice, než jsem došel ke konečné verzi. První ojnice měla vzdálenost otvorů mimo toleranci, druhá se pokroutila vlivem tepla vzniklého při obrábění. Vystouplá oka ojnice jsem „soustružil“ excentricky upnutým nožem v hlavě frézky.



Obrázek 40: Polotovary ojnic



Obrázek 41: Konečné zabrušování ojnice



Obrázek 42: Hotová ojnice

4.7 Píst

Je vyroben z automatové hliníkové slitiny. Není zhotoven ze slitiny s vysokým obsahem křemíku, tudíž má píst docela velikou tepelnou roztažnost. Ta se dá potlačit důkladným záběhem motoru. Píst má dva široké pístní kroužky se specifickými zámky. Pístní kroužky jsou zajištěny mosaznými kolíčky proti pootáčení. Na pístu se nachází přepouštěcí okénko a deflektor, jež jsou obráběny na frézce.



Obrázek 43: Surově obroběný píst



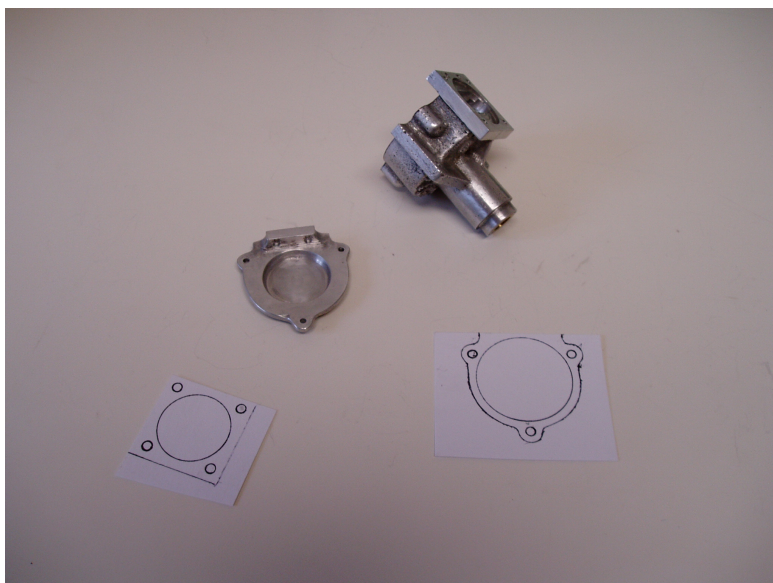
Obrázek 44: Píst s pístním kroužkem, pohled na zámek

4.8 Víko klikové skříně

Je zhotoveno z automatové hliníkové slitiny. Na motoru je upevněno pomocí 5 mosazných šroubů M 2,5. Tři jsou rovnoběžně s osou klikového hřídele, dva kolmo na osu klikového hřídele, abych zpevnil klikovou skřín (originální uchycení klikové skříně je provedeno pouze 3 vodorovnými šrouby).



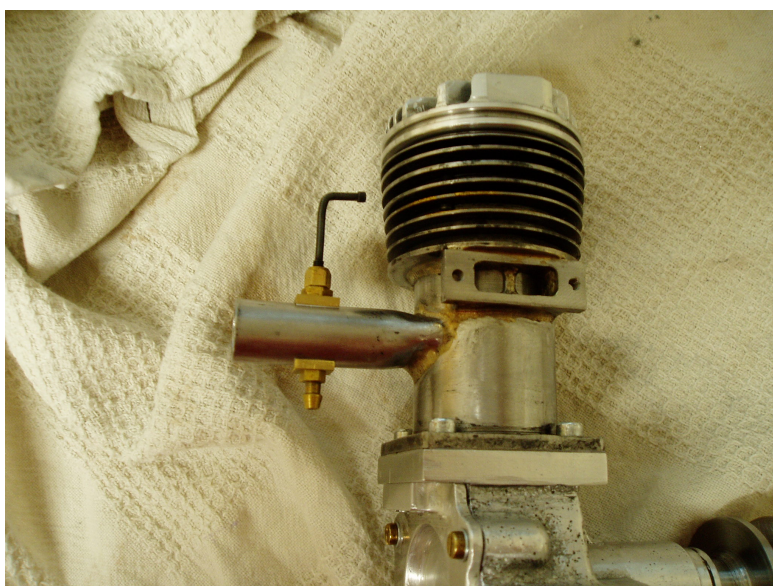
Obrázek 45: Víko klikové skříně



Obrázek 46: Hotové zadní víko a těsnění

4.9 Karburátor

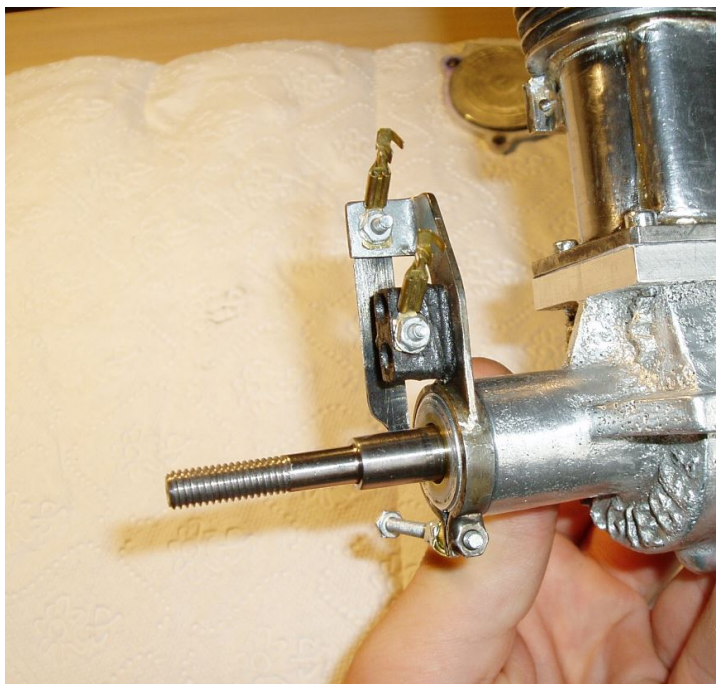
Motor má tzv. Venturiho karburátor, u kterého se nedají plynule regulovat otáčky motoru. Nelze jenom tak přidat plyn, motor by se musel manuálně ochudit, nebo se musí přenastavit předstih. To lze i za chodu motoru. Na karburátor jsem použil díly ze sériově vyráběného motoru MVVS 2,5. Původně jsem chtěl dýzový nátrubek a jehlu vyrábět, ovšem náhodou jsem zjistil, že podle výkresu jsou rozměry originálního a výše uvedeného velice podobné. Jehla sériového motoru je dokonce „více do špičky“, tudíž je motor méně citlivý na nastavení bohatosti paliva. V zásadě je důležité jen dodržet stejný průměr trysky dýzového nátrubku, jinak se mohou ostatní rozměry libovolně měnit podle potřeb užití motoru.



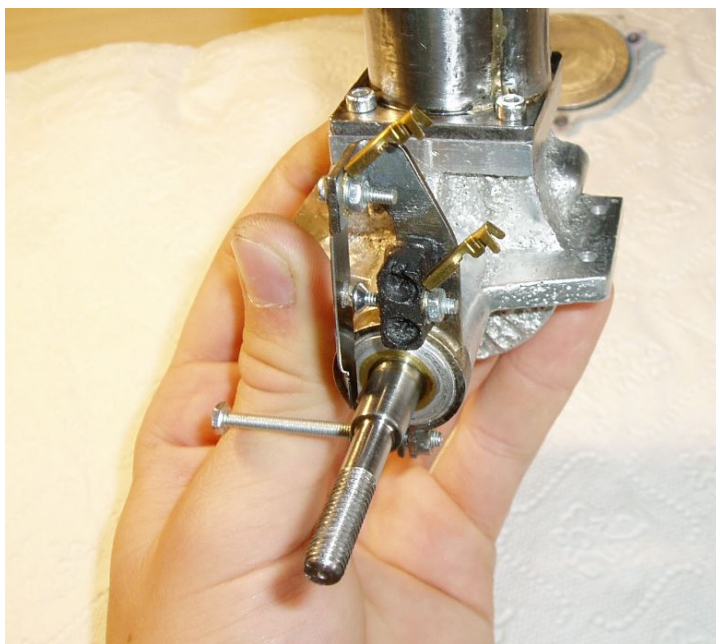
Obrázek 47: Karburátor

4.10 Přerušovač

Přerušovač je zhotoven z plechu o tloušťce 1 mm. Jako izolační materiál mezi kontakty jsem použil bakelit. Okamžik zážehu se dá nastavovat za běhu motoru pomocí mosazné šroubovací páky, jež se dá ve vhodné poloze (podle projevu a požadovaného chodu motoru) otočením zafixovat (zašroubovat).



Obrázek 48: Přerušovač



Obrázek 49: Přerušovač a kontakty



Obrázek 50: Nastavovací šroub

5 KOMPLETACE MOTORU

Nejdříve bylo potřeba provést honování úpravu válce tak, aby šel píst bez pístních kroužků lehce vsunout do válce. Když na válec nasadím hlavu válce a našroubuji svíčku, tak nenaolejovaný píst bez pístních kroužků lehce sjede směrem k hlavě válce (Když je válec otočen hlavou válce směrem k zemi). Následně jsem poupravil pístní kroužky tak, aby jejich mezera v zámku činila 0,2 mm. Pístní čep je opatřen mosaznými ččkami jako pojistka proti jeho vysunutí.

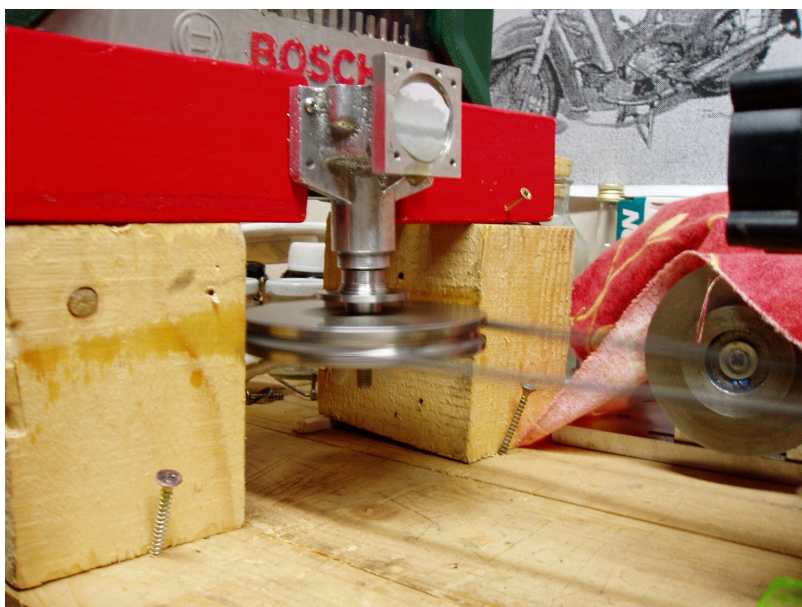


Obrázek 51: Píst s ojnicí



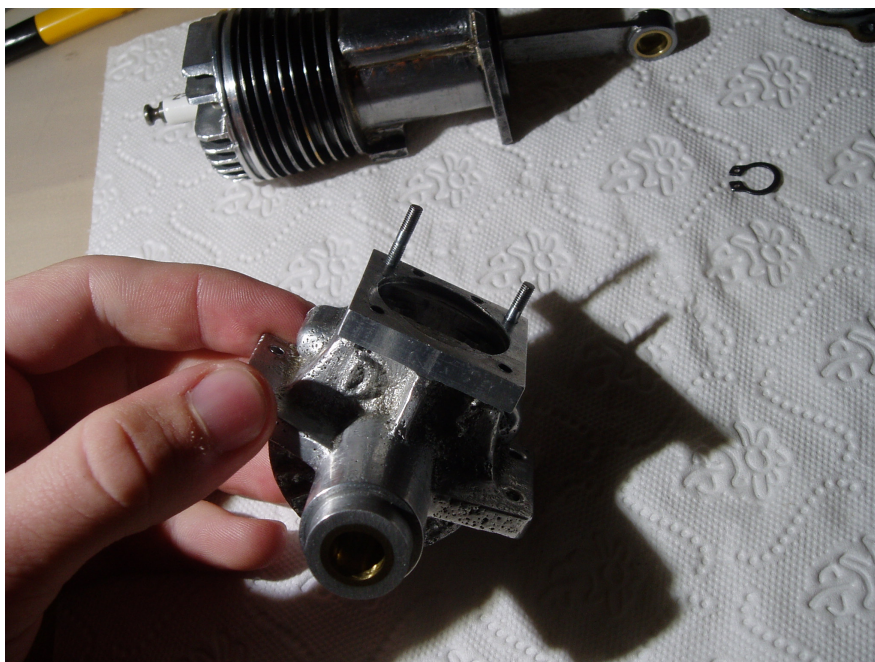
Obrázek 52: Detail na zámky pístních kroužků

Pak jsem vystružil bronzové ložisko v klikové skříní pro klikový hřídel a zabrousil vrtulový unašeč tak, aby klikový hřídel nasazený v klikové skříní měl axiální vůli 0,5mm. Na sucho nasazený hřídel se v pouzdru otáčí zcela volně, po naolejování mírně hůře, protože olej se již do spáry mezi pouzdem a klikovým hřídelem „nevejde“.



Obrázek 53: Motorické zabíhání klikového hřídele

Válec je ke klikové skříní připevněný štefty se závity M3, štefty jsou v klikové skříní zajištěny proti povolení lepidlem na šrouby. Na štefty se našroubují vysoké mosazné matice vlastní výroby.



Obrázek 54: Uchycení válce



Obrázek 55: Matice na uchycení válce (dvě přebývají)

Nyní jsem již mohl motor poskládat dohromady. Do klikové skříně se vloží klikový hřídel, na něj se nasadí odmaštěný vrtulový unašeč, který se vrtulí přitáhne ke klikovému hřídeli. Nyní se na klikový hřídel nasadí ojnice s pístem (píst a ojnice tvoří nerozebíratelný celek) a dolní oko ojnice se zajistí proti axiálnímu posunu vnějším pojistným kroužkem. Na klikovou skříň se nasadí válec a následně hlava válce. Na klikovou skříň se nasadí zadní víko a nyní se může (pokud jde motorem hladce protočit) nasadit hlava válce.



Obrázek 56: Základní součásti motoru (bez hlavy válce)



Obrázek 57: Poskládaný kompletní motor



Obrázek 58: Složený motor

6 VÝROBA ZAPALOVÁNÍ

První starty motoru byly provedeny s moderním elektronickým zapalováním. Abych ovšem dovedl svůj motor k dokonalosti, rozhodl jsem se pro výrobu vlastního historického zapalování, podle originálního návodu ze 40. let 20. století. Tehdy se používalo pouze vysokonapětových cívek jako takzvaného bateriového zapalování. Celé zapalování sestávalo z vysokonapětové cívky, odrušovacího kondenzátoru, akumulátorů a mechanického přerušovače. Přerušovač jsem zhotovil takřka přesně podle návodu, použil jsem na něj wolframové kontakty kvůli potlačení jejich opalování. Svitkový kondenzátor jsem zakoupil hotový, rozhodl jsem se pro kapacitu 200 uF. S akumulátorem jsem očekával problém, kvůli jeho malé životnosti, tak jsem se rozhodl pro NiMh články s kapacitou 1100 mAh a max. proudovým odběrem 15 A.

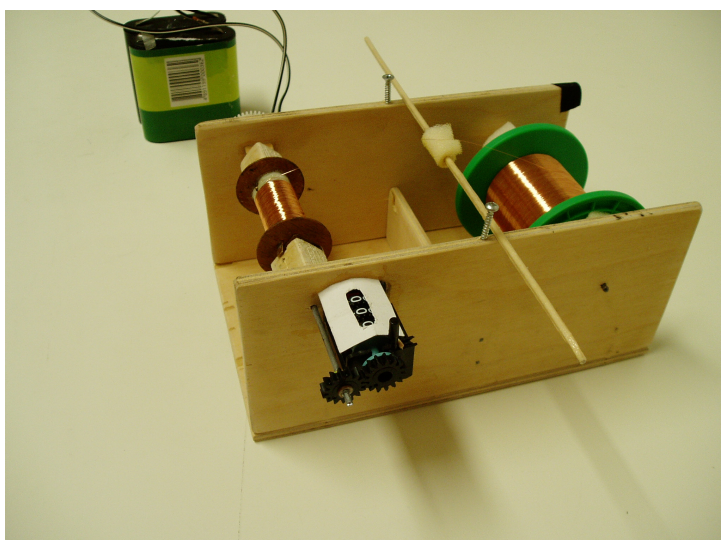
Jediný otazník zůstával u vysokonapětové cívky. Místo doporučeného smaltovaného drátu na sekundární vinutí o průměru 0,07 mm jsem se rozhodl pro drát o průměru 0,1 mm. Jednak byl k dispozici a jednak se díky většímu průměru lépe namotával bez přetrhávání. Na namotávání jsem si vyrobil speciální navíječku s počítadlem. Potřeboval jsem mít na sekundárním vinutí cívky 10 000 závitů. Namotával jsem vždy jednu řadu po 500 závitů, každou druhou řadu jsem odizoloval prolakovaným papírem na potahování modelů (modelspar). Lak jsem používal kalafunový. Finální cívku jsem natřel epoxidovou pryskyřicí, abych zabránil mechanickému poškození sekundárního vinutí. Primární vinutí cívky má 150 závitů a je provedeno smaltovaným drátem o průměru 0,5 mm. Jádrem je složeno z mezi sebou odizolovaných železných plechů o rozměrech 50x8x0,5 mm. Bočnice cívky jsou z letecké překližky o síle 1 mm a průměru 25 mm. Nakonec bylo potřeba čela nastavit na průměr 32 mm.



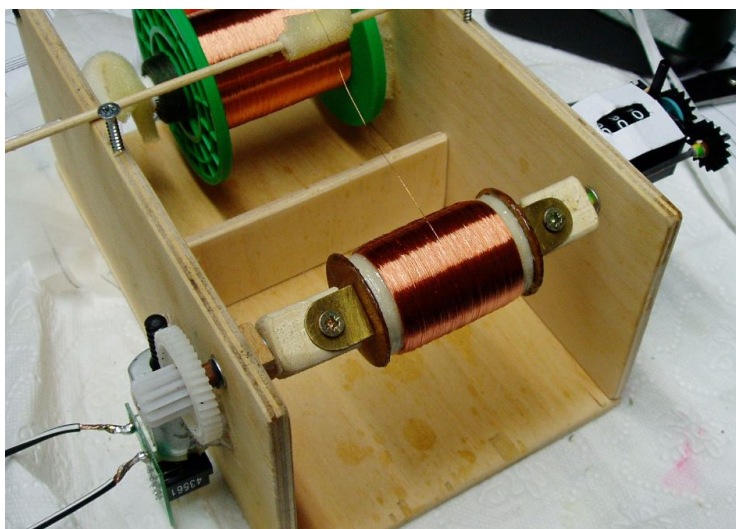
Obrázek 59: Jádrem vysokonapětové cívky



Obrázek 60: Primární vinutí



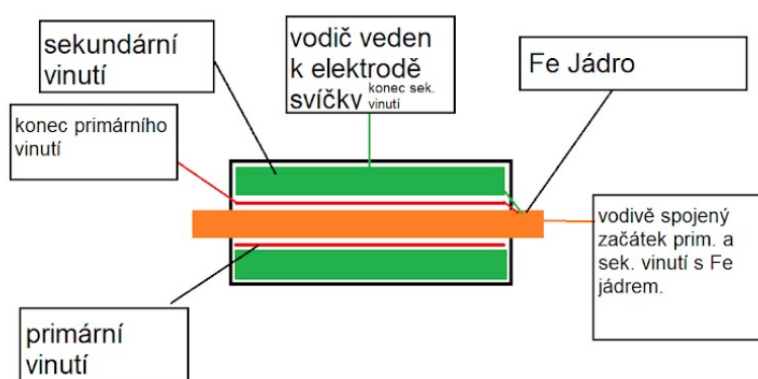
Obrázek 61: Navíječka



Obrázek 62: Sekundární vinutí

Připomínky k zapojení vysokonapěťové cívky. Zatím nevím, proč motor běží nepravidelně při následujícím zapojení: jeden pól baterie je veden na začátek prim. a sek. vinutí, druhý k přerušovači a z něj na konec primárního vinutí. Pól baterie, jenž je veden k přerušovači, tvoří zároveň kostru motoru. Zastávám názor, že u tohoto zapojení se nejdříve nabudí jádro a teprve až potom „jde proud“ do sek. vinutí. Při tomto zapojení motor vynechává, zapalování někdy nevytvoří jiskru (bývá to zruha každou 10. otáčku). Díky této „pravidelnosti“ jsem nabyl dojmu, že se náboj cca 9 předchozích period akumuluje a následně vytvoří velký výboj, po kterém už se nestačí další náboj v rámci jedné periody opět vytvořit.

Když připojím na konec primárního vinutí jeden pól baterie, druhý pól baterie vyvedu k přerušovači a z něj na začátek sek. a prim. vinutí, tak se obě vinutí zřejmě „budí současně“ a k akumulaci energie v rámci více period nedochází, motor běží jak má.



Obrázek 63: Popis vysokonapěťové cívky



Obrázek 64: Hotová vysokonapěťová cívka

7 ZÁVĚR

Cílem mé práce bylo zhotovit plně funkční spalovací motor historické konstrukce ze 40. let 20. století včetně dobového zapalování. Na výsledné podobě mělo být na první pohled vidět, že se nejedná o sériový kus, nýbrž o raritu nesoucí rysy svého stavitele. Zároveň měl výsledný výrobek vypadat esteticky dobře, na první pohled měl nést znaky dobře odvedené práce. Všechny tyto aspekty výsledek překonal, svůj cíl jsem tedy splnil. Motor je plně funkční, startuje i bod bodem mrazu, zároveň nevydává žádné jiné zvuky, než které by se měly ozývat. S modelářskými motory již mám bohaté zkušenosti, a proto můžu prohlásit, že se mnou zhotovený exemplář chová obdobně jako sériový motor. Na motoru je skutečně po detailnějším prozkoumání vidět spousta nedokonalostí, které nebyly vytvořeny úmyslně, ovšem které zároveň dokazují originalitu motoru. Dodávají motoru autentičnost, přičemž neničí celkový dojem z motoru, takže nejsou na obtíž. Zapalování motoru dělá také přesně to, co se od něj očekává, byť je jeho zhotovitel elektroamatér. Vysokonapěťová cívka spolu s mechanickým přerušovačem vytvářejí dokonalou iluzi historického motoru, zapalování není zcela spolehlivé, ovšem právě tento fakt motoru propůjčuje jeho charakteristický dobový projev, kdy při nižších otáčkách motor vynechá, tak jako by tomu bylo u motoru ze stejného období. Jedinou nevýhodou vynechávání jsou lehce vyšší vibrace motoru. Co se týče návaznosti vibrací motoru ve spojitosti s jeho zvětšením zdvihového objemu, tak mohu s klidným svědomím prohlásit, že se mi podařilo vyvážit všechny pohyblivé součásti motoru na přijatelnou mez.

Stavbu motoru jsem plánoval asi 3 roky dopředu, v době kdy jsem ještě neměl k dispozici potřebné strojní vybavení. Když nepočítám dobu, kterou jsem strávil sháněním výkresové dokumentace, knihy a pístních kroužků, tak mi samotná výroba motoru zabrala rok (od října 2019 do října 2020) s tím, že na motoru je ještě stále nedokončená práce (výroba nádrže, motorového lože).

Tabulka 1: Parametry

Zdvihový objem	16,6 ccm
Hmotnost (celková)	550 g
Vrtání	28 mm
Zdvih	27 mm
Palivo	Natural 95 + M2T (poměr 1:5)
Vrtule (průměr x stoupání)	425 mm x 190 mm

8 POUŽITÁ LITERATURA

Felgiebel-Kyzlink, T., Spalovací motorky pro letadélka, Praha: Šolc a Šimáček společnost s.r.o., 1941

9 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Tabulka 1: Parametry.....	40
Obrázek 1: Sání.....	8
Obrázek 2: Výfuk.....	8
Obrázek 3: Pístní kroužky.....	9
Obrázek 4: Válec s vysoustruženými žebry.....	10
Obrázek 5: Válec s přírubou a hotovou vnější konturou	10
Obrázek 6: Kanály	11
Obrázek 7: Kanály	11
Obrázek 8: Nátrubek karburátoru	12
Obrázek 9: Nátrubek a trn.....	12
Obrázek 10: Roztržený první nátrubek.....	13
Obrázek 11: Oba dva nátrubky	13
Obrázek 12: Přepouštěcí kanál	14
Obrázek 13: Nátrubek a přepouštěcí kanál na válci	14
Obrázek 14: Válec před sletováním.....	15
Obrázek 15: Válec před sletováním, pohled na výfuk.....	15
Obrázek 16: Válec po sletování.....	16
Obrázek 17: Válec po sletování	16
Obrázek 18: Válec po obroušení.....	17
Obrázek 19: Honovací hlava.....	17
Obrázek 20: Honování válce.....	18
Obrázek 21: Válec po výbrusu.....	19
Obrázek 22: Soustružená hlava válce	19
Obrázek 23: Hlava válce s vyfrézovanými žebry	20
Obrázek 24: Výroba negativní voskové formy.....	21
Obrázek 25: Rozpouštění negativní voskové formy.....	21
Obrázek 26: Hotový nápis "FELGIEBEL"	21
Obrázek 27: Hotový pozitivní model.....	22
Obrázek 28: Výroba sádrové formy.....	22
Obrázek 29: Příprava formovací směsi.....	23
Obrázek 30: Pohled do hotové pískové formy.....	23

Obrázek 31: 3. odlitek- křehký	24
Obrázek 32: 5. Odlitek.....	24
Obrázek 33: Písková forma s komínkem.....	25
Obrázek 34: 2. a 5. Odlitek	25
Obrázek 35: Stručný popis všech odlitků	25
Obrázek 36: Vrtání otvorů pro připevnění zadního víka	26
Obrázek 37: Obrobená kliková skříň s klikovým hřídelem a vrtulovým unašečem.....	26
Obrázek 38: Polotovary klikového hřídele s vrtulovým unašečem	27
Obrázek 39: Přípravek na výrobu ojnic.....	27
Obrázek 40: Polotovary ojnic	28
Obrázek 41: Konečné zabrušování ojnice	28
Obrázek 42: Hotová ojnice	29
Obrázek 43: Surově obrobený píst.....	29
Obrázek 44: Píst s pístním kroužkem, pohled na zámek	30
Obrázek 45: Víko klikové skříně	30
Obrázek 46: Hotové zadní víko a těsnění	31
Obrázek 47: Karburátor	31
Obrázek 48: Přerušovač	32
Obrázek 49: Přerušovač a kontakty	32
Obrázek 50: Nastavovací šroub	33
Obrázek 51: Píst s ojnicí	33
Obrázek 52: Detail na zámky pístních kroužků.....	34
Obrázek 53: Motorické zabíhání klikového hřídele	34
Obrázek 54: Uchycení válce	35
Obrázek 55: Matice na uchycení válce (dvě přebývají)	35
Obrázek 56: Základní součásti motoru (bez hlavy válce).....	36
Obrázek 57: Poskládaný kompletní motor.....	36
Obrázek 58: Složený motor	36
Obrázek 59: Jádru vysokonapěťové cívky.....	37
Obrázek 60: Primární vinutí	38
Obrázek 61: Navíječka.....	38
Obrázek 62: Sekundární vinutí	38
Obrázek 63: Popis vysokonapěťové cívky	39
Obrázek 64: Hotová vysokonapěťová cívka.....	39

