



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

katedra telekomunikační techniky

Řízení a přímé vstřikování dvoutaktního motoru

Control and Direct Injection of a two-stroke Engine

Bakalářská práce

Studijní program: Komunikace, multimédia a elektronika

Studijní obor: Síťové a informační technologie

Vedoucí práce: prof. Ing. Pavel Zahradník, CSc.

Martin Stehlík

Praha 2016



Prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou bakalářskou práci zpracoval sám s přispěním vedoucího práce a používal jsem pouze literaturu v práci uvedenou. Dále prohlašuji, že nemám námitek proti půjčování nebo zveřejňování mé bakalářské práce nebo její části se souhlasem katedry.

V Praze dne 24. 5. 2016

.....
Podpis bakalanta

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

katedra telekomunikační techniky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Martin Stehlík**

Studijní program: Komunikace, multimédia a elektronika
Obor: Síťové a informační technologie

Název tématu: **Řízení a přímé vstřikování dvoutaktního motoru**

Pokyny pro vypracování:

Navrhněte a realizujte řízení a přímé vstřikování dvoutaktního spalovacího motoru. Pro řízení uvažujte mikrokontrolér TMS320F2837xD.

Seznam odborné literatury:

- [1] Gordon, J.: Two-stroke Tuner's Handbook. HPTrade, 156 pages, 01/1987. ISBN: 978-091265-641-0.
- [2] Literatura dostupná na: http://www.ti.com/lscs/ti/microcontrollers_16-bit_32-bit/c2000_performance/real-time_control/f2833x_f2837x/overview.page [on-line]

Vedoucí: prof. Ing. Pavel Zahradník, CSc.

Platnost zadání: do konce letního semestru 2016/2017



prof. Ing. Boris Šimák, CSc.
vedoucí katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 21. 12. 2015



Poděkování

Rád bych zde poděkoval prof. Ing. Pavlu Zahradníkovi, CSc. za odborné vedení, cenné rady a věcné připomínky k této práci. Dále bych chtěl poděkovat mé rodině a přátelům za vytrvalou podporu a trpělivost po dobu studia.



Anotace:

Cílem této práce je řešení návrhu a následná realizace přímého vstřikování paliva pro dvoutaktní motor a s tím spojené elektronické řízení za využití mikroprocesoru. Práce se zabývá jak teoretickou částí tak i praktickou a to výrobou prototypu.

Klíčová slova:

Dvoutaktní motor, přímé vstřikování, elektronická řídicí jednotka

Summary:

The aim of this work is to find solution and realization of a two-stroke direct injection engine and electronic control unit using a microcontroller. This work contain the theoretical work and the prototype production.

Index Terms:

Two-stroke engine, direct injection, electronic control unit



Obsah

1.	Úvod.....	7
2.	Dvoutaktní motor.....	8
3.	Přímé vstřikování paliva.....	10
3.1.	Popis.....	10
3.2.	Vstřikovač.....	10
3.3.	Vstřikovací čerpadlo.....	11
3.4.	Ostatní součásti.....	13
4.	Elektronické řízení motoru.....	14
5.	Výroba prototypu.....	15
5.1.	Návrh.....	15
5.1.1.	Motor.....	15
5.1.2.	Palivová pumpa.....	15
5.1.3.	Vstřikovač.....	16
5.1.4.	Elektronická jednotka.....	17
5.1.5.	Senzory.....	17
5.1.6.	Ostatní části.....	18
5.2.	Realizace.....	19
5.2.1.	Mechanická část.....	19
5.2.2.	Elektronická část.....	24
5.2.3.	Programování MCU.....	27
6.	Závěr.....	31
7.	Seznam použitých zdrojů.....	32
8.	Seznam použitých obrázků.....	34



1. Úvod

Dvoutaktní motor má již po dlouhou dobu širokou sféru použití, avšak za posledních 20 let nezaznamenal žádný zásadní vývoj. Téměř vždy se jedná o velmi podobnou konstrukci, kdy dochází pouze k drobným změnám, které však nepřinášejí až tak významné výsledky. Přitom již máme dostupné technologie, které by mohli zvýšit efektivitu zároveň se snížením ekologického dopadu tohoto motoru a tím i rozšířit pole působnosti.

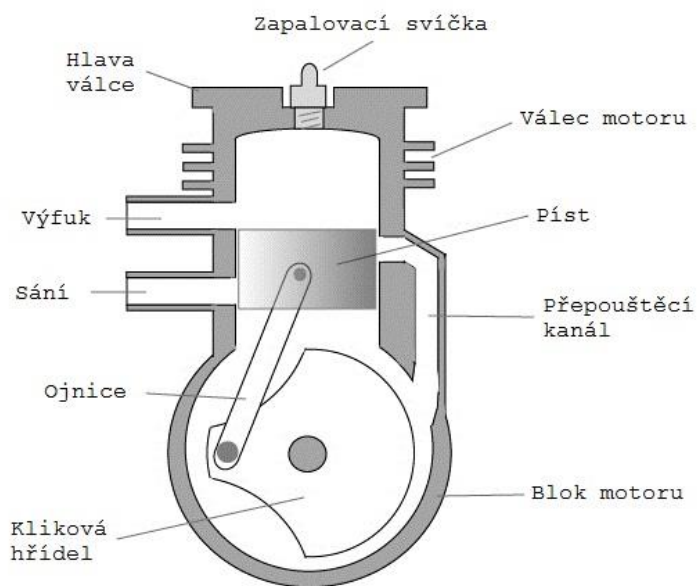
Cílem této práce je zjistit jakým způsobem lze zvýšit užitnou hodnotu spalovacího dvoutaktního zážehového motoru a ověřit možnost aplikace moderních technologií jako je přímé vstřikování paliva do spalovací komory spolu s odděleným mazáním, které přináší řadu výhod. Dále bylo cílem navrhnout a použít elektronické řízení za pomoci mikroprocesoru pro správnou funkci a chod motoru. Jako výsledek práce jsme chtěli získat prototyp, který by za použití již existujících komponentů a následnou aplikaci výše zmíněných technologií vykazoval lepší vlastnosti než původní motor.



2. Dvoutaktní motor

Historie samotného dvoutaktního motoru sahá až do 19. století kdy došlo ke zkonstruování prvního motoru skotským inženýrem Dugaldem Clerkem [1]. V principu se jednalo o stále stejnou konstrukci, která se používá dodnes. Dvoutaktní motor využívá ke své činnosti směs

vzduchu a paliva. Palivo je obvykle v tekuté formě a bývá smícháno spolu s olejem určeným k mazání všech mechanicky namáhaných částí uvnitř motoru. Následně je tato směs vzduchu, paliva a oleje nasávána do prostoru klikové hřídele a poté přepouštěna pomocí kanálu ve válci motoru do spalovacího prostoru, kde dochází ke stlačování směsi, zážehu a expanzi. Tento cyklus probíhá kontinuálně a to zároveň částečně s následujícím (sání + stlačování a expanze + přepouštění + výfuk) cyklem dokud je do motoru dodáváno palivo.



Obrázek 2.1: Konstrukce dvoutaktního motoru

Tato konstrukce má jak své výhody, tak nevýhody. Mezi hlavní přednosti patří jednoduchá konstrukce celého motoru (méně pohyblivých dílů) a s tím spojená nízká váha. Zároveň díky kontinuálnosti celého spalovacího procesu nedochází k tzv. „mrtvým“ fázím běhu, kdy motor místo výroby energie ji naopak spotřebovává kvůli svému vlastnímu chodu. Dvoutaktní motor tak vykazuje vyšší výkon na objem v porovnání s jinými (například čtyřtaktní motor) druhy spalovacích motorů. [2]



Bohužel však dvoutaktní motor má i svá stinná místa a to především po ekologické stránce. To je dáno právě použitím ztrátového mazání, kdy při procesu spalování dochází k zážehu paliva s olejem. Pokud by se podařilo podíl oleje ve směsi minimalizovat, či naprosto eliminovat došlo by tak k odstranění jedné z hlavních nevýhod proč tento motor nepoužívat. Jako další nevýhoda bývá uváděna nestabilita chodu motoru, která má však mnohdy za příčinu nedokonalou přípravu směsi paliva.

Dvoutaktní motor se používá hlavně tam, kde je požadován vysoký výkon a malá hmotnost. Jedná se tedy například o zahradní techniku jako motorové pily či křovinořezy. Zde právě díky nízké váze je možné tuto techniku bez větších obtíží přenášet a přitom mít stále výkon, který několikanásobně zvýší efektivitu práce.



Obrázek 2.2: Křovinořez Husquarna 327 LDx

Dalším neméně významným odvětvím jsou dopravní prostředky a to především malé městské skútry, enduro a motokros motocykly, mopedy či motorové koloběžky. U všech těchto prostředků byl dvoutaktní motor zvolen právě kvůli vysokému výkonu na objem a malé hmotnosti což usnadňuje celkově manipulaci s prostředkem a ulehčuje jízdu například ve zúžených uličkách. Pro příklad uvedu, že u běžného dvoutaktního motoru o objemu 125 kubických centimetrů lze očekávat výkon až 25kW, zatímco u čtyřtaktního se pohybuje pouze okolo 14kW.



Obrázek 2.3: Skútr Vespa 50



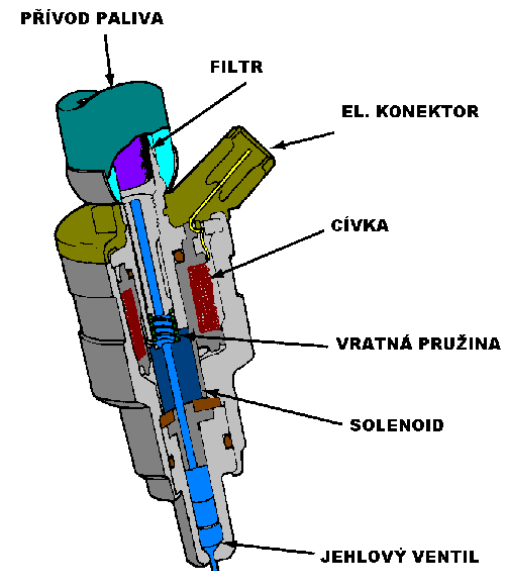
3. Přímé vstřikování paliva

3.1. Popis

Přímé vstřikování je technologie, umožňující dopravení paliva přímo do spalovací komory za pomoci vysokého tlaku. Tento systém byl poprvé použit v 60. letech 20. století a původně využíván hlavně pro zvýšení výkonu motoru oproti karburátorové verzi, jelikož umožňuje přesnější dávkování paliva. Ovšem s vývojem elektronických řídicích systémů dostala i tato technologie nový rozměr a to především jako možnost pro úsporu paliva. Díky tomu, že je možné dávkovat v libovolný okamžik téměř libovolné množství paliva, se otevírají široké možnosti jak zvýšit účinnost motoru v závislosti na jeho momentálním stavu (otáčky, zatížení, teplota atp.).

3.2. Vstřikovač

Kompletní systém přímého vstřikování se sestává z několika klíčových komponentů. Jako první a jeden ze dvou nejdůležitějších dílů je palivový vstřikovač. Jedná se o součástku obvykle válcovitého tvaru, která má za úkol rychle a přesně dávkovat palivo a zároveň jej co nejlépe rozprášit na jemnou mlhu. V praxi se setkáme se dvěma typy vstřikovačů. První, konstrukčně starší typ je solenoidový, kde nalezneme jako způsob dávkování paliva jehlový ventil, který je ovládán elektromagnetickou cívkou. Tento systém má výhodu především v jednodušším ovládní samotného vstřikovače, jelikož obvykle pracuje přímo s palubním napětím vozidla a má pouze dva stavy (zavřeno/otevřeno).



Obrázek 3.1: Průřez solenoidovým vstřikovačem

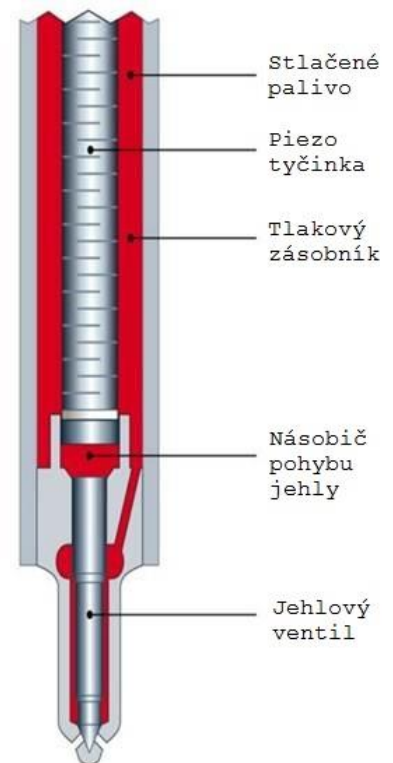


Druhý typ je piezoelektrický, kde princip vstřikovače zůstává zachován, avšak místo elektromagnetické cívky je zde použito velké množství piezoelementů, které jsou spojené do jedné dlouhé tyčinky. Díky tomu má tento vstřikovač rychlejší reakční čas, což může umožnit například vícenásobné vstřikování během jednoho cyklu a především je schopný se otevřít jen částečně a tím dávkovat menší množství paliva za stejný čas. Nevýhodou naopak jsou větší rozměry dané soustavou piezoelementů, které zabírají značnou část vstřikovače.

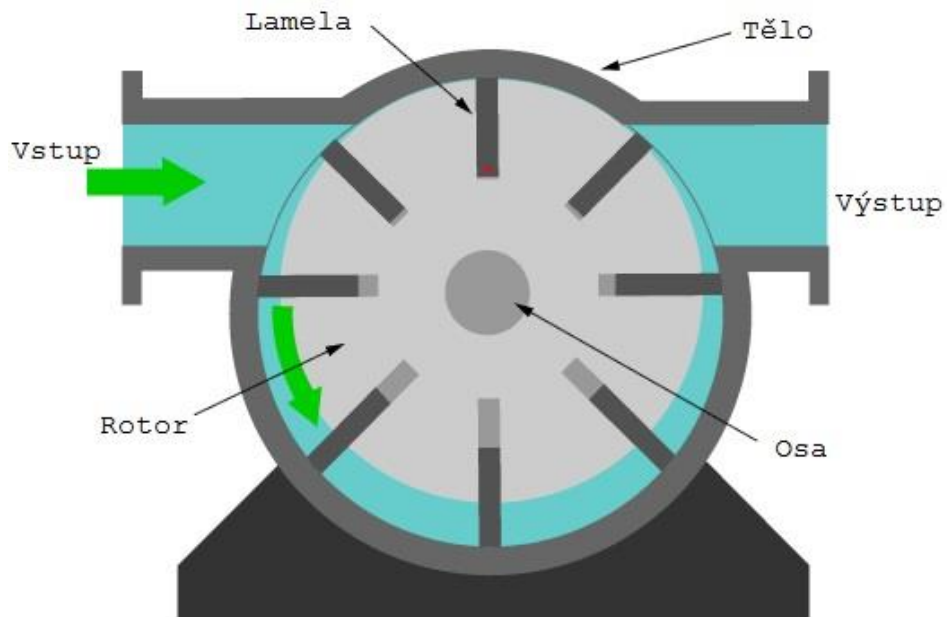
3.3. Vstřikovací čerpadlo

Jako druhá důležitá součást celého vstřikovacího systému je vysokotlaká pumpa či čerpadlo (v závislosti na principu). Úkolem čerpadla je palivo, které je dodáváno nejčastěji pomocí podávacího čerpadla, stlačit na vysoký tlak a následně jej dopravit ke vstřikovači. Rozlišujeme na hlavní dva typy čerpadel a to rotační a pístové. V rotačním čerpadle je válcovitá komora, v níž je excentricky umístěn válec s lamelami. Tyto lamely jsou odstředivou silou vytlačovány ke stranám a tím dochází utěsnění. Následně rotací a excentrickým umístěním dochází k zasouvání lamely a tím i ke stlačování až k výstupnímu otvoru.

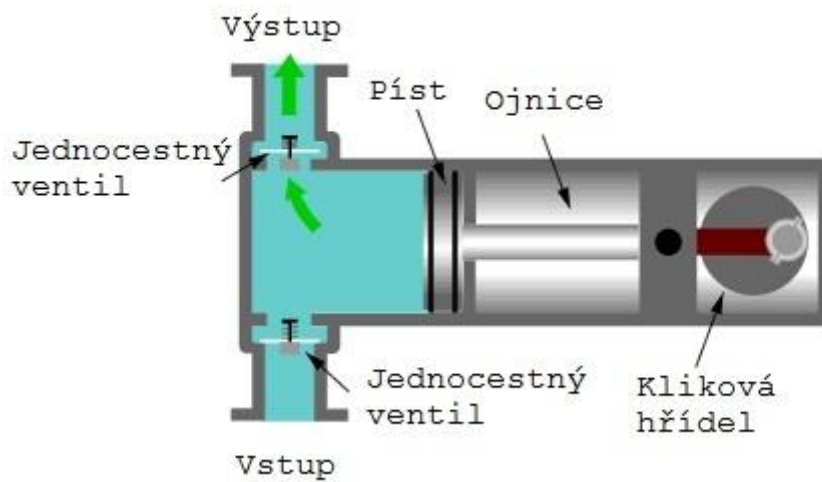
Druhým typem je pístová pumpa. Zde je palivo nasáváno přes jednocestný ventil do válce čerpadla, kde je následně pístem vytlačováno přes druhý jednocestný ventil ven.



Obrázek 3.2: Průřez piezo vstřikovačem



Obrázek 3.3: Průřez rotačním čerpadlem



Obrázek 3.4: Průřez pístovou pumpou



3.4. Ostatní součásti

Další nedílnou součástí celého systému je regulátor tlaku paliva. Ten má za úkol zajistit stabilitu tlaku pro bezchybnou funkčnost systému. Lze ho řešit buď mechanicky, kdy dochází při překročení tlaku ke vracení paliva obtokovým ventilem zpět do systému či elektronicky, kde je tlak paliva monitorován senzorem a při změně tlaku dojde buď k úpravě otáček čerpadla, nebo otevření elektronického ventilu k uvolnění přebytečného tlaku.

Aby vše správně fungovalo, musí být celý systém řízen bezchybně a to obvykle pomocí elektronického řídicího systému, který je popsán v následující kapitole.



4. Elektronické řízení motoru

Elektronická řídicí jednotka (ECU – Engine control unit) přijímá informace ze senzorů v motoru a následně na jejich základě vydává signály k provedení konkrétních činností.

V závislosti na složitosti celého řídicího systému může jednotka vykonávat pouze několik základních úkonů (řízení vstřikování, zapalování) či naopak ovládat všechny činnosti spojené s během motoru jako je ovládání sání vzduchu, provádění diagnostiky za běhu, regulace tlaku či řízení ostatních komponent a součástí vozidla (převodovka atp.). Vzhledem ke složitosti celku a stále se zvyšujících nároků na vybavení však obvykle jednotka komunikuje s dalšími, které vykonávají dílčí činnosti (CANbus).

Návrh ECU vyžaduje použití jak analogové tak digitální technologie. Hodnoty ze senzorů jsou upravované a následně předávané pomocí A/D převodníků do digitální části, kde jsou zpracovány a vyhodnoceny mikroprocesorem. Poté v závislosti na hodnotách konkrétních čidel může jednotka provést korekce či vydat určitý povel.

V případě výpadku některého ze senzorů může jednotka také pracovat v tzv. nouzovém režimu, kdy místo dat ze senzorů použije pevně nastavené hodnoty uložené v paměti, díky kterým je zajištěn bezpečný provoz i když například s následkem ztráty výkonu (tento režim obvykle pracuje s nejhroším možným scénářem, který nemusí odpovídat realitě, avšak brání poškození motoru). [3]



5. Výroba prototypu

5.1. Návrh

5.1.1. Motor

Jako první část pro realizaci prototypu bylo nutné vybrat vhodný motor. Hlavním požadavkem byla konstrukce, která umožní přestavbu na přímé vstřikování a dále objem alespoň 30 kubických cm a výkon okolo 1kW. Při výběru byla zohledněna jak cena, tak parametry a jako nejvhodnější se jevil motor z křovinořezu Grizzly MTS 32. Tento motor má následující parametry:

Objem válce: 32ccm

Výkon: 1kW

Rozsah otáček: 1500-7000 ot/min.

Motor byl po kontrole plně funkční až na závadu v membráně karburátoru, která se projevovala nestálostí chodu. Karburátor však byl pro naše potřeby nevyužitý a tak bylo rozhodnuto o jeho použití k přestavbě.

5.1.2. Palivová pumpa

Dále bylo nutné nalézt vhodnou palivovou pumpu, která bude schopna dodávat vysoký tlak paliva pro vstřikování. Z důvodů jednodušší konstrukce prototypů a celkového ovládní vstřikovacího systému bylo rozhodnuto o použití elektrického modelu nejlépe na 12V napájení. Tlak, který bude schopna pumpa dodávat, jsme požadovali alespoň 6 barů s průtokem paliva až 3L/min. Zároveň bylo žádoucí, aby pumpa měla nastavitelnou regulaci výstupního tlaku.



Obrázek 5.1: Pumpa PLD-1206



Po zvážení několika kandidátů byl zvolen model PLD-1206 se zpětným regulačním obtokovým ventilem.

Jedná se o membránový typ pumpy s odolností vůči chemicky agresivním látkám. Tento typ pracuje na stejném principu jako pístová pumpa, avšak místo pohybu pístem je zde vytlačování kapaliny prováděno rychlými kmity pružné membrány což má výhodu ve stabilnějším tlaku s pouze malými rozkmity. Další výhodou je samonasávací schopnost díky čemuž není potřeba využívat další podávací čerpadlo. Pumpa dosahuje výstupního tlaku až 10 Barů, průtokem kapaliny 4L za minutu a příkonem 45W při maximálním zatížení. Díky regulačnímu ventilu je možné nastavit výstupní tlak na požadovanou hodnotu.

5.1.3. Vstříkovač

Jelikož firma Bosch má dlouhodobé zkušenosti v segmentu vstříkovačů a palivových systémů, byl tento klíčový prvek zvolen právě od této firmy. Po zvažování různých modelů, typů a provedení jsme se soustředili na řadu EV14 kde se jako nejvhodnější typ jevil typ 0 280 158 038 v modelovém provedení CKxT (prodloužená verze) s průtokem až 237g/min. Tento vstříkovač vykazuje krátkou reakční dobu, snadnou ovladatelnost a spolehlivost v různých režimech. Možnost širokého rozsahu dávky a její stabilita byly klíčové vlastnosti proč, byl zvolen tento typ.



Obrázek 5.2: Bosch EV14 CKxT



5.1.4. Elektronická jednotka

Jako řídicí prvek celého prototypu jsme vybrali mikroprocesor od Texas Instrument, konkrétně typ TMS320F2837xD z řady C2000 Delfino. Jedná se o vysoce výkonný procesor, který v sobě integruje dvě CPU jádra o frekvenci 200MHz a dvě CLA (32bitový matematický akcelerátor) o stejné frekvenci, které pracují nezávisle na CPU jádrech. Dále obsahuje 4 nezávislé A/D převodníky s rozlišením až 16 bitů. Programování probíhá prostřednictvím software Code Composer Studio v jazyce C/C++.

5.1.5. Senzory

Pro správnou funkci je nutné snímat několik parametrů a to konkrétně otáčky motoru, polohu pro vstřikovací moment a množství nasávaného vzduchu. Dále je vhodné mít přehled i o tlaku paliva.

Pro snímání otáček a současně i správného momentu vstřikování bylo původně plánováno využít optického snímání, nicméně tento způsob se následně ukázal jako nespolehlivý a poruchový jelikož byl citlivý na okolní vlivy. Navíc jelikož se zde vyskytuje mastnota a znečištění, senzor bylo nutné pravidelně čistit, což velmi znevýhodňovalo jeho nasazení. Následně se tedy tento senzor nahradil pomocí magnetického jazyčkového kontaktu a to především proto, že rotor motoru již obsahuje magnety, které jsou schopny tento kontakt sepnout. Zde byly na výběr dva typy a to konkrétně KA-80 a KSK1A66-1020.

První ze zmíněných senzorů vykazoval kratší reakční dobu, avšak byl až příliš citlivý na magnetické pole rotoru a docházelo tak k náhodným sepnutím v nesprávných okamžicích. U druhého typu tento jev nenastal a tak byl použit právě typ KSK1A66-1020

Pro měření tlaku paliva byl využit převodník s rozsahem do 12 Barů a rychlou odezvou na změny tlaku. Tento snímač bude sloužit k měření stability tlaku paliva a případné úpravě dávky.



Pro zajištění bezpečnosti a ochraně všech součástí palivového systému byl použit nastavitelný tlakový spínač QPM11 s rozpínacím kontaktem (NC). Rozpínací tlak lze plynule nastavit v rozsahu od 0 do 10 Barů a tím zajistit vypnutí pumpy v případě selhání regulačního ventilu a překročení kritického tlaku.

5.1.6. Ostatní části

V neposlední řadě bylo nutné zvolit způsob dodávání oleje do motoru. Nejprve byla uvažována také membránová pumpa, nicméně naše požadavky na malý a stabilní průtok s možností přesného dávkování žádná nesplňovala. Přesunuli jsme se tedy k možnosti využití elektrického zubového čerpadla a to konkrétně od výrobce Turnigy. Po prověření parametrů, jako je konstantní průtok v závislosti na viskozitě oleje a možnost dávkování (tedy, že se množství dávky nemění a je vždy v rámci tolerance stejné), bylo čerpadlo vyhodnoceno jako vhodné a použitelné pro požadovanou aplikaci.

Pro kontrolu běhu motoru bylo vhodné monitorovat otáčky i externě, proto byl použit bezkontaktní indukční otáčkoměr, který měří otáčky z počtu jisker zapalování. Měřicí rozlišení je na desítky otáček za minutu což je v tomto případě dostačující a zároveň umožňuje kontrolu správné funkce zapalování.



5.2. Realizace

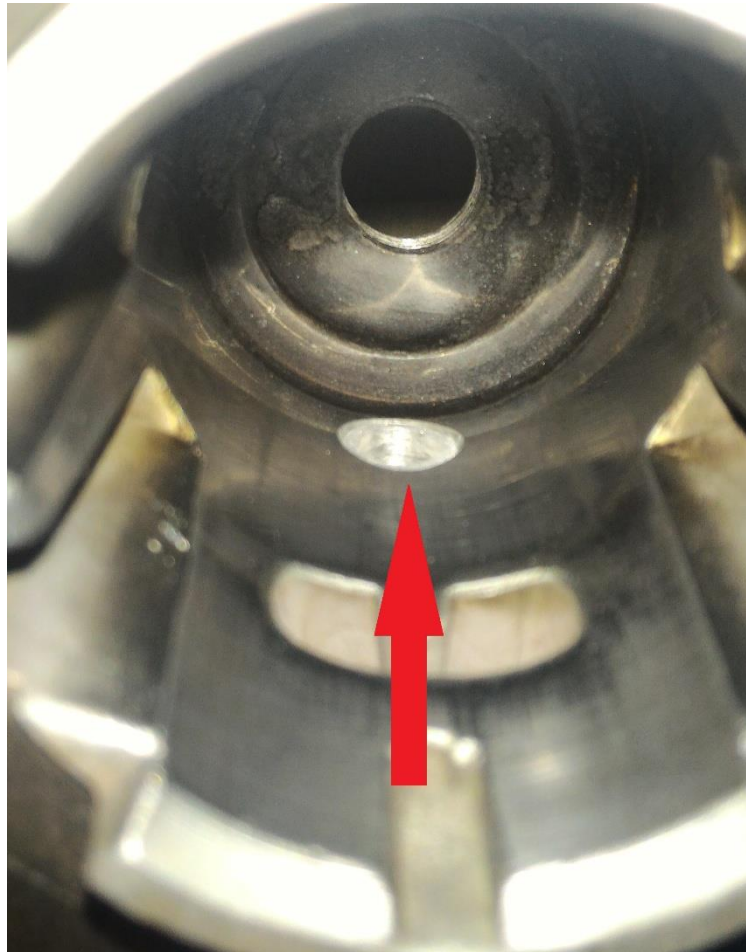
5.2.1. Mechanická část

V první fázi tvorby prototypu bylo nejprve nutné upravit samotný motor pro instalaci vstřikovače. Motor bylo nutné kompletně odstrojit, rozebrat a připravit samotný válec motoru pro montáž. Jelikož se jedná o maloobjemový motor s tenkou stěnou válce, bylo nutné vyrobit vložku, do které bude možné vstřikovač vložit. Po pečlivé volbě, změření a výpočtu místa montáže [4],[5], bylo možné provést úpravu žebrování válce, které bylo nutné odfrézovat a následně začistit.



Obrázek 5.3: Odfrézované žebrování válce

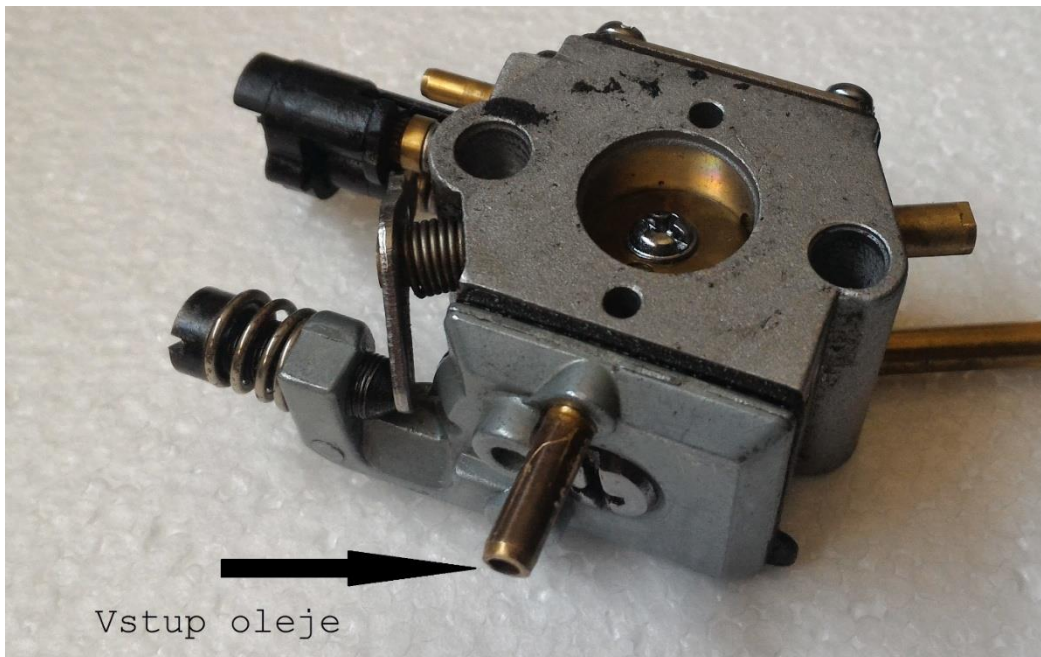
Následně již bylo možné přistoupit k samotné montáži vložky. Nejprve postupným vrtáním byl vytvořen ve válci otvor tak, aby nedošlo k poškození válce (hlavně jeho vnitřní povrchové úpravě). Po kontrole a ujištění, že vložka vstřikovače nijak nekoliduje s pohybem pístu, bylo provedeno začistění kanálu a vlepení vložky vstřikovače pomocí tekutého hliníku, který odolává vysokým teplotám a vykazuje vynikající mechanické vlastnosti blízké se materiálu vložky a válce (tedy nedochází ke zbytečnému pnutí spoje).



Obrázek 5.4: Pohled do válce motoru

Po vytvrzení spoje opět proběhla kontrola na případné nerovnosti a těsnosti vložky (na Obr 5.4 označeno červeně šipkou) a následně došlo ke zpětnému složení motoru.

Jako další krok bylo nutné najít vhodný způsob aplikace oleje do motoru tak, aby byl motor účinně mazán tam, kde je to potřeba a nedocházelo ke zbytečnému spalování přebytečného oleje. Jelikož již nepotřebujeme původní karburátor jako způsob přípravy palivové směsi, byla tato část přestavěna tak aby umožňoval dávkování oleje přímo do prostoru klikové hřídele a původní palivový systém v karburátoru byl zaslepen. Tím bylo dosaženo jednoduché instalace systému mazání a olej je dávkován přímo tam, kde je ho potřeba nejvíce.

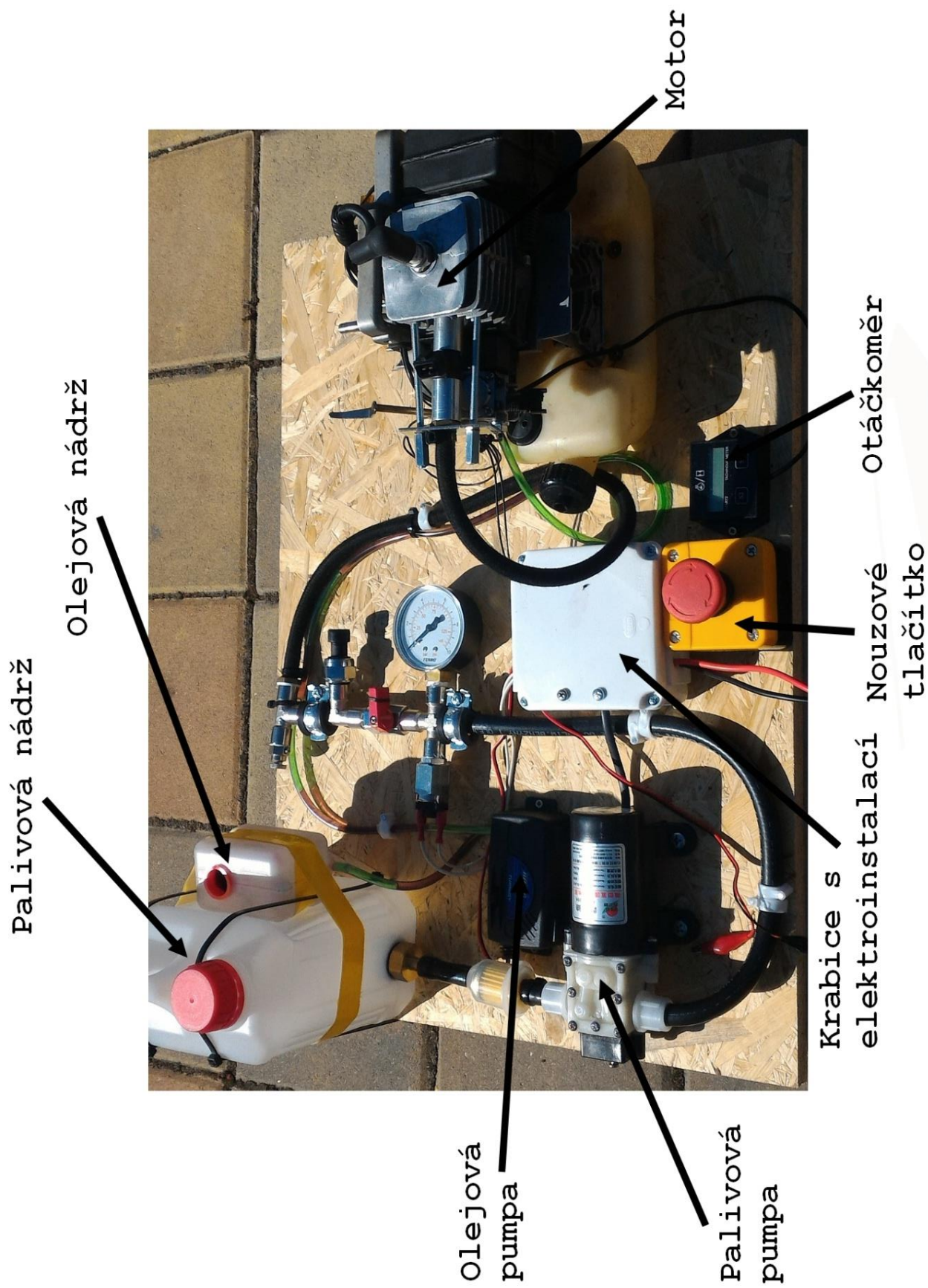


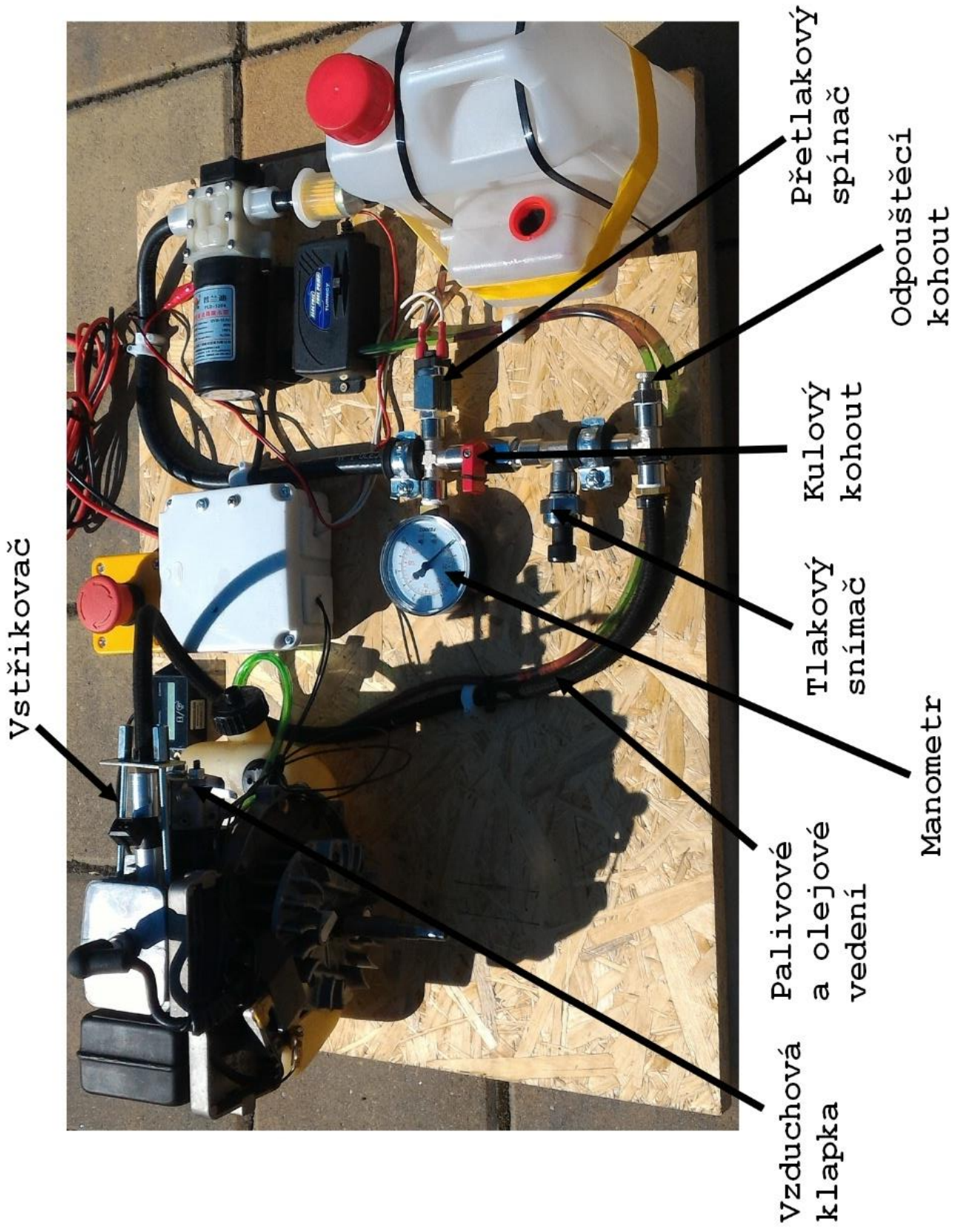
Obrázek 5.5: Úprava karburátoru

Po dokončení příprav k instalaci vstřikovače jsem provedl výrobu základní desky pro celý prototyp. Na tuto desku byly namontovány všechny dříve zmíněné části (palivová pumpa, olejové čerpadlo) a následně propojení těchto součástí do palivové soustavy jako celku. Pro vedení paliva byly využity vysokotlakové hadice s vnitřním resp. vnějším opletem pro zajištění maximální pevnosti a odolnosti. Montáž palivových senzorů (tlakový senzor, přetlakový spínač, manometr) a dalších součástí byla provedena pomocí šroubení a to v rozměru G1/4. Zároveň zde byl umístěn kulový kohout, který umožňuje regulaci průtoku paliva do vstřikovače či jeho úplné zavření v případě potřeby přenastavení hodnoty tlaku.

Dále byla na desku připevněna palivová nádrž o objemu 2L spolu s olejovou nádrčkou o objemu 400ml. Samozřejmostí je instalace palivového filtru proti nečistotám, které by mohly poškodit palivovou pumpu či ucpat trysku vstřikovače.

Po ověření funkčnosti a těsnosti veškerých komponent a celku jako takového jsem se přesunul k realizaci elektronické části.

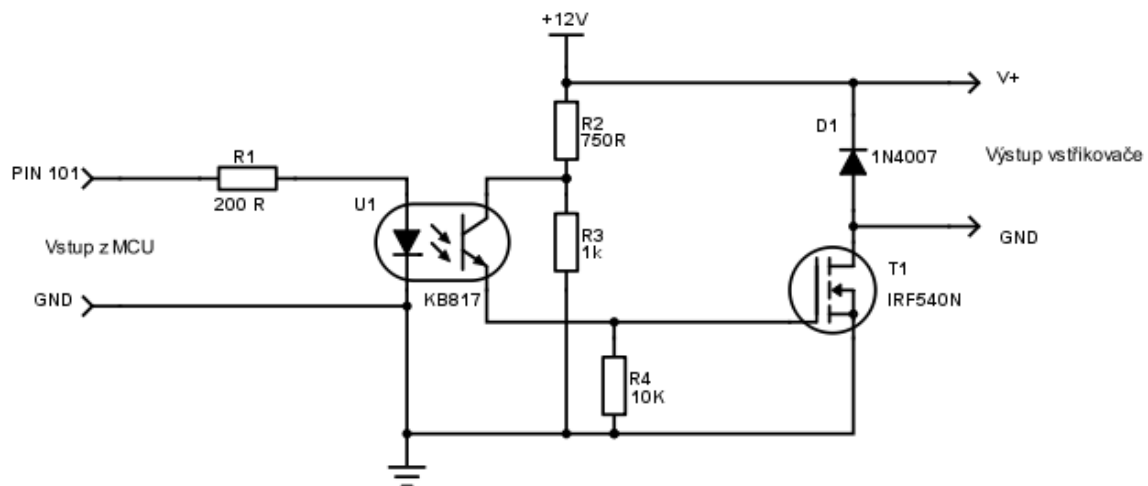






5.2.2. Elektronická část

Pro použití mikrokontroléru jako řídicí jednotky bylo nutné navrhnout a realizovat obvody pro ovládání vstřikovače, palivové pumpy a olejového čerpadla. Všechny tyto komponenty vyžadují pro svůj běh vyšší napětí a proud než používá procesor a zároveň je vhodné některé tyto části izolovat jako ochranu před poškozením MCU vlivem možného naindukovaného napětí na vodičích v blízkosti zapalování (to se týká hlavně vstřikovače).

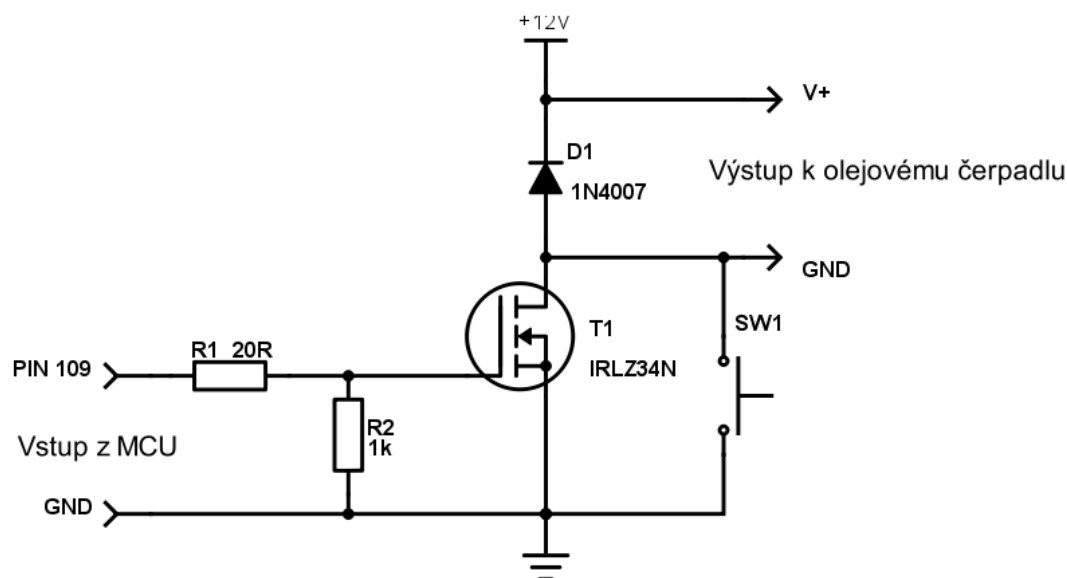


Obrázek 5.8: Schéma zapojení driveru vstřikovače

Na obrázku 5.8 je schéma ovládacího obvodu pro vstřikovač. Jako spínací prvek byl zvolen MOSFET typu N s označením IRF540N. Jako hlavní důvod pro využití tohoto tranzistoru byly rychlé reakční časy (Turn-on delay 11 ns, Rise Time 35 ns, Turn-off delay 39 ns, Fall time 35 ns) a zároveň pro tyto potřeby vysoká hodnota maximálního napětí Drain-Source, která činí 100V. MOSFET je spínán prostřednictvím optočlenu KB817. V datasheetu MCU TMS320F2837xD je uváděn jako maximální přípustný odebíraný proud z jednoho pinu 20mA a proto bylo nutné brát ohled na tento fakt při návrhu oddělovacího prvku (optočlenu).

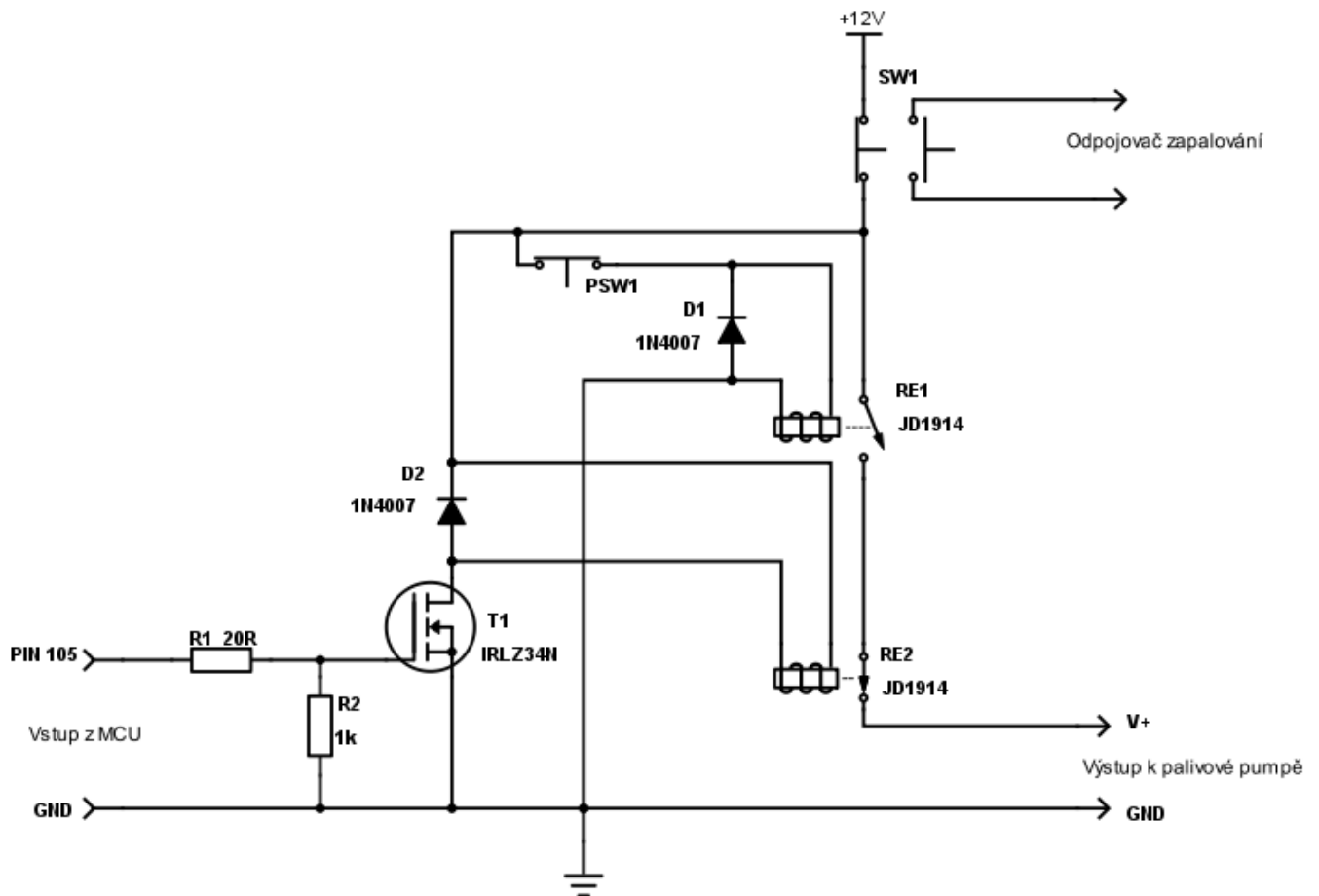


Jako ideální kombinace napětí a proudu pro maximální efektivitu optočlenu byla zvolena doporučená katalogová hodnota 1.3V resp. 15mA. Přípustné napětí D-S spolu s použitím optočlenu s izolačním napětím 5000V slouží jako ochrana MCU proti poškození indukovaným napětím. Dioda D1 typu 1N4007 slouží jako ochranná dioda proti záporným špičkám, které vznikají u indukčních typů zátěže (solenoid vstřikovače).



Obrázek 5.9: Schéma zapojení driveru olejového čerpadla

U ovládání olejového čerpadla je případ obdobný jako u vstřikovače, avšak jelikož se čerpadlo nachází v dostatečné vzdálenosti od motoru a zapalování, bylo možné použít jako spínací prvek MOSFET typu N pracující přímo s logickou výstupní úrovní mikrokontroléru (3.3V). Po změření parametrů čerpadla v plné zátěži, kdy proudový odběr činil 0.6A při 12V byl jako vhodný typ tranzistoru zvolen IRLZ34N. Pro případ nutnosti manuální aktivace mazání motoru byl použit momentový spínač SW1, který umožňuje přemostění tranzistoru a tím spuštění čerpadla. Jelikož se opět jedná o indukční zátěž, jako ochranná dioda D1 byl zvolen vyhovující typ 1N4007.



Obrázek 5.10: Schéma zapojení driveru palivové pumpy

Pro palivovou pumpu byl zvolen obvod s dvojicí relé JD1914-12VDC-40A. Důvod, proč jsou v tomto případě použita relé jako spínací prvky, je v první řadě proudová náročnost pumpy, která při rozběhu v případě natlakované soustavy odebírá špičkově proud až 35A. Jako další důvod je fakt, že nepožadujeme vysokou frekvenci spínání (relé by měly zůstat sepnuté po celou dobu běhu v ideálním případě) a tím tedy reakční časy relé postačují pro tuto aplikaci. První relé je ovládáno pomocí tlakového spínače (presostatu) označeného jako PSW1. Spínač má ve výchozí poloze kontakty v režimu NC (sepnuté) a při překročení nastaveného tlaku dochází k rozepnutí. Tím dojde i k odpojení napájení do RE1 a vypnutí palivové pumpy. Relé RE2 slouží pro ovládání palivové pumpy pomocí MCU pro případ detekce poruchy v palivovém systému. RE 2 je ovládáno přes MOSFET IRLZ34N, stejně jako u řídicího obvodu olejového čerpadla.



Spínač SW1 slouží jako hlavní a zároveň nouzový vypínač, kdy při stisku hříbku (Obrázek 5.6) dojde k odpojení hlavního napájení a ukostření zapalovací cívky motoru. Tím je bezpečně zastaven chod motoru.

5.2.3. Programování MCU

Jako poslední část ke zdárnému vytvoření prototypu bylo nutné vytvořit program, který bude ovládat všechny potřebné části. V první fázi se bylo nutné seznámit s programovacím prostředím Code Composer Studio (CCS) a jazykem C/C++. Po sepsání prvních testovacích programů na ovládání vstřikovače, následně i palivové a olejové pumpy jsem postoupil na čtení vnějších signálů z čidel jako je snímač otáček a následně i A/D převodníky. Práci velmi usnadnila možnost čtení dat a hodnot přímo prostřednictvím CCS a i rychlá úprava a nahrání programu do procesoru pro testování.

Následuje sepsaný kód programu pro řízení prototypu:

```
//-----//
//Program: Rizeni vstrikovace pro dvoutaktni motor //
//Autor: Martin Stehlik //
//Verze:16/5/16 //
//Popis: Program ma za ukol ridit vstrikovac na zaklade informaci, //
//ze snimace otacek a natoceni klapky. //
//Dalsim ukolem je davkovani oleje ve stanovenem intervalu. //
//-----//

#include "F28x_Project.h" //prilozit knihovny GPIO,PieVect,PieCtrl,SysCtrl...

void NastADC(void);
void ADCSoft(void);
void Kontrol(void);
void main(void) {

// zakladni konfigurace MCU (watchdog, preruseni atp.)
    InitSysCtrl();
    DINT;
    InitPieCtrl();
    IER = 0x0000;
    IFR = 0x0000;
    InitPieVectTable();
    EINT;
    ERTM;
```



```
// nastaveni GPIO in/out
InitGpio();
    GPIO_SetupPinMux(49, GPIO_MUX_CPU1, 0); //vystup vstrikovace
    GPIO_SetupPinMux(51, GPIO_MUX_CPU1, 0); //vystup oleje
    GPIO_SetupPinMux(53, GPIO_MUX_CPU1, 0); //vysup pal. pumpy
    GPIO_SetupPinMux(60, GPIO_MUX_CPU1, 0); //vstup mag. senzoru
    GPIO_SetupPinOptions(49, GPIO_OUTPUT, GPIO_PUSH_PULL);
    GPIO_SetupPinOptions(51, GPIO_OUTPUT, GPIO_PUSH_PULL);
    GPIO_SetupPinOptions(53, GPIO_OUTPUT, GPIO_PUSH_PULL);
    GPIO_SetupPinOptions(60, GPIO_INPUT, GPIO_ASYNC);

// Zapnuti ADC prevod.
    NastADC();
    ADCSoft();

// Kontrola
    Kontrol();

// Kalibrace
    int nullV = (350/1000);
    int maxV = (900/1000);

// Deklarace
    int i = 0;
    int x = 0;
    int o = 0;
    int p = 0;
    int ADCA = 0;

// Hlavni program
    for(;;)
    {
        AdcaRegs.ADCSOCFRC1.all = 0x0003;
        while(AdcaRegs.ADCINTFLG.bit.ADCINT1 == 0);
        AdcaRegs.ADCINTFLGCLR.bit.ADCINT1 = 1;
        ADCA = AdcaResultRegs.ADCRESULT0;
        if (ADCA<680) { p=0.5; }
        else if((ADCA>680) && (ADCA<740)){ p=0.7;}
        else if((ADCA>740) && (ADCA<790)){ p=0.8;}
        else if(ADCA>790) { p=0.9;}
        else { p=1;}
        i = GPIO_ReadPin(60);
        x = (1000*1+(1000*((ADCA-nullV)/maxV)*4*p));

        if( i==0 ){
            GPIO_WritePin(49,1);
            DELAY_US(x);
            GPIO_WritePin(49,0);
            o++;
        }
    }
}
```



```
        if( o==25 ){
            GPIO_WritePin(51,1);
            DELAY_US(1000*10);
            GPIO_WritePin(51,0);
            o=0;        }
        }
    }

//-----//
//                               Pomocne podprogramy                               //
//-----//
void Kontrol(void){
    //kontrola vstriků
        for(int i=0;i=3;i++){
            GPIO_WritePin(49, 1);
            DELAY_US(5000);
            GPIO_WritePin(49, 0);
            DELAY_US(5000);
        }
    //kontrola olej. pumpy

        for(int i=0;i=2;i++){
            GPIO_WritePin(51, 1);
            DELAY_US(1000*50);
            GPIO_WritePin(51, 0);
            DELAY_US(1000*50);
        }

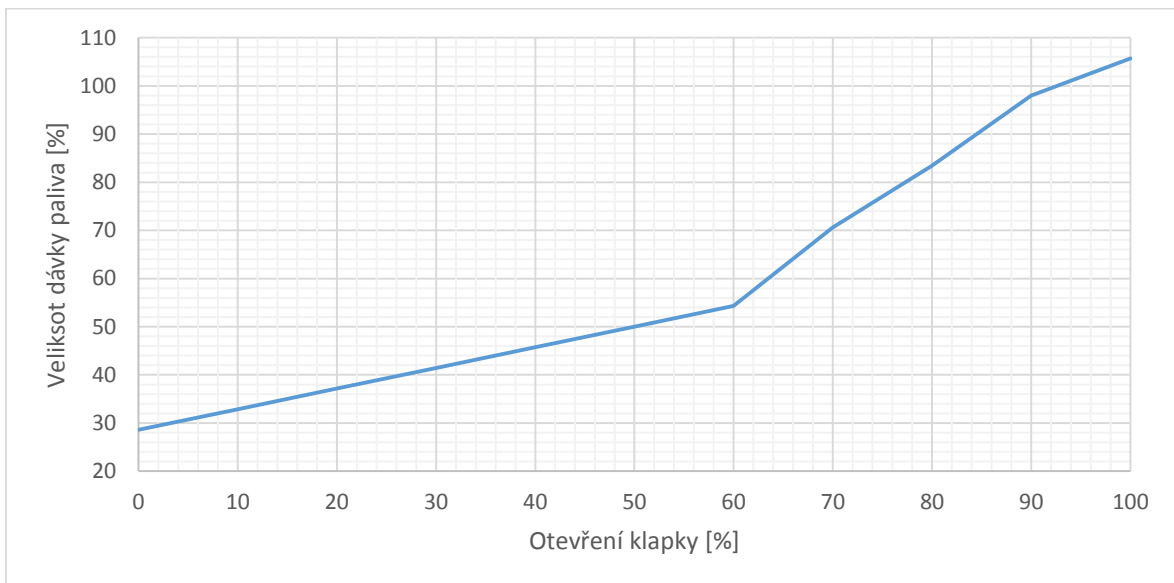
    //kontrola paliv. pumpy
            GPIO_WritePin(53, 1);
            DELAY_US(1000*1000);
            GPIO_WritePin(53,0);
    }
void NastADC(void)
{
//konfigurace a zapnutí ADC převodníku
    EALLOW;
    AdcaRegs.ADCCTL2.bit.PRESCALE = 6;
    AdcSetMode(ADC_ADCA, ADC_RESOLUTION_12BIT, ADC_SIGNALMODE_SINGLE);
    AdcaRegs.ADCCTL1.bit.INTPULSEPOS = 1;
    AdcaRegs.ADCCTL1.bit.ADCPWDNZ = 1;
    DELAY_US(1000);
    EDIS;
}

void ADCSoft(void)
{
```



```
//nastaveni ADC prevodu
  Uint16 acqps;
  if(ADC_RESOLUTION_12BIT == AdcaRegs.ADCCTL2.bit.RESOLUTION){
    acqps = 14;
  }
  else {
    acqps = 63;
  }

  //ADC pro ADCA A0
  EALLOW;
  AdcaRegs.ADCSOC0CTL.bit.CHSEL = 0;
  AdcaRegs.ADCSOC0CTL.bit.ACQPS = acqps;
  AdcaRegs.ADCINTSEL1N2.bit.INT1SEL = 1;
  AdcaRegs.ADCINTSEL1N2.bit.INT1E = 1;
  AdcaRegs.ADCINTFLGCLR.bit.ADCINT1 = 1;
}
//-----//
//                                     KONEC PROGRAMU                                     //
//-----//
```



Obrázek 5.11: Mapa vstřikovače

Na obrázku 5.11 je zobrazen výsledný průběh dávkování paliva v závislosti na velikosti otevření škrtící klapky. Motor byl provozován v režimu s konstantní zátěží, proto s ní nebylo v tomto případě nutné počítat.



6. Závěr

Tento projekt mi přinesl spoustu nových informací a zkušeností z oblasti elektroniky, mechaniky a programování, a to především kvůli tomu, že během řešení této práce jsem musel čelit nejen úskalím, které byly zřejmé hned na počátku práce ale i všem dalším, které se během této práce vyskytly. Jako cíl jsme si vytyčili přestavět dvoutaktní motor na přímé vstřikování, které by umožňovalo použití odděleného mazání motoru a tím i snížit ekologický dopad. Tato přestavba vyžadovala kompletní návrh nového palivového i mazacího systému a v neposlední řadě použití elektronického řízení ovládaného pomocí mikroprocesoru.

Po dokončení návrhu a realizace prototypu se vyskytly v průběhu ožívování různorodé problémy například s nastavením správného množství dávky paliva na volnoběžné otáčky a následně i pro různé natočení klapky. Nakonec se však podařilo tyto problémy úspěšně vyřešit a jako výsledek práce máme funkční prototyp, který je sice stále mazán ztrátově, nicméně množství spáleného oleje se podařilo redukovat.

Pokud jde o další vývoj v tomto směru či přímo na této práci, jsou zde velmi široké možnosti, které by bylo škoda nevyužít. Konkrétně ve snaze naprosto oddělit mazání od spalování, mám v plánu zcela vypustit přepouštěcí fázi motoru a nahradit jí použitím stlačeného vzduchu přímo vedeného do válce opět spolu s přímým vstřikováním. Jak jsem již zjistil, tento nápad není sice ojedinělý avšak dohledat se funkčního motoru nebo jen prototypu je nemožné. Dále použití sofistikovanější řídicí jednotky by umožnilo mít ještě větší kontrolu nad dalšími částmi motoru (například časování zapalování, klapka ovládaná servomotorem, snímání zatížení a tím širší úprava dávky paliva atp.) Z mého pohledu je to tak výzva, kterou je třeba zkusit i za cenu, že nebude mít očekávaný výsledek. Pokud se však podaří tuto ideji realizovat, myslím, že se bude jednat o velmi zásadní pokrok z hlediska ekologie a efektivity dvoutaktního spalovacího motoru.



7. Seznam použitých zdrojů

- [1] Dvoudobý zážehový motor [online]. 2011. [cit. 2016-5-16] Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/616-dvoudoby-zazehovy-motor>
- [2] Mattarelli Enrico, Advances in The Design of Two-Stroke, High Speed, Compression Ignition Engines. [online]. 3/2013. [cit. 2016-5-16] . Dostupné z: <http://www.intechopen.com/books/advances-in-internal-combustion-engines-and-fuel-technologies/advances-in-the-design-of-two-stroke-high-speed-compression-ignition-engines>
- [3] Vineet P., Aras: Design od Electronic Control Unit (ECU) for Automobiles – Electronic Engine Management system. M. Tech. 2004 Project first stage report. Indian Institute of Technology Bombay, Department of Electrical Engineering. Vedoucí Práce: Prof. Kavi Arya, Prof. Dinesh Sharma
- [4] Gordon, J: Two-stroke Tuner's Handbook. HPTrade, 156 pages, 01/1987. ISBN: 978-091265-641-0
- [5] Bell, Graham A.: Two Stroke Performance tuning, Haynes Publishing, 272 pages, 11/1999. ISBN: 978-185960-619-3
- [6] How a Two-Stroke Glow Engine Works [online]. 2005. [cit. 2016-5-18]. Dostupné z: <http://www.rc-airplane-advisor.com/model-airplane-engine-cycle.html>
- [7] Husquarna 327 LDx [online]. 2015. [cit. 2016-5-18] Dostupné z: <http://www.husqvarna.com/>
- [8] Vespa Our History [online]. [cit. 2016-5-18]. Dostupné z: http://www.vespa.com/en_EN/Heritage.html
- [9] Automobilová diagnostika – testování akčních členů v automobilu [online]. [cit. 2016-5-18]. Dostupné z: http://www.jb-elektronik.cz/diagnostika-testovani_akcnich_clenu.php
- [10] Piezo Fuel Injector [online]. [cit. 2016-5-20] Dostupné z: <http://www.partinfo.co.uk/articles/137>
- [11] Sliding vane pump information [online]. 2014. [cit. 2016-5-20]. Dostupné z: <http://www.gmpumps.com/positive-displacement-pumps/sliding-vane-pumps/sliding-vane-pump-information/>



[12] What is the difference between a plunger and a piston? [online]. 2015. [cit. 2016-5-20] . Dostupné z: <https://www.quora.com/What-is-the-difference-between-a-plunger-and-a-piston>

[13] DF DC 12V 45W Diaphragm Water Pump PLD-1206. [online]. [cit. 2016-5-21]. Dostupné z: <https://www.amazon.ca/DF-Diaphragm-Automatic-Switch-PLD-1206/dp/B00W3G6HA6>

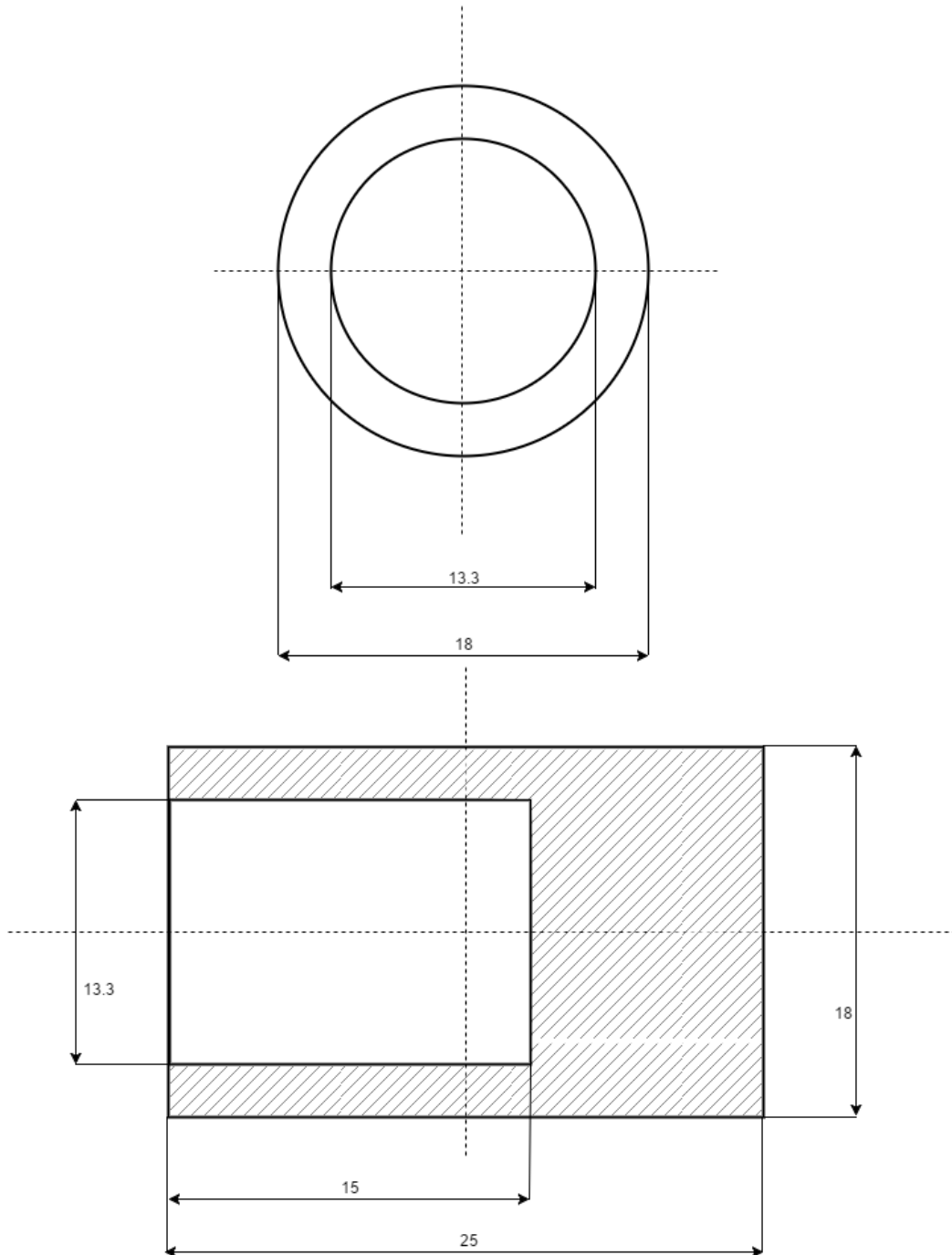


8. Seznam použitých obrázků

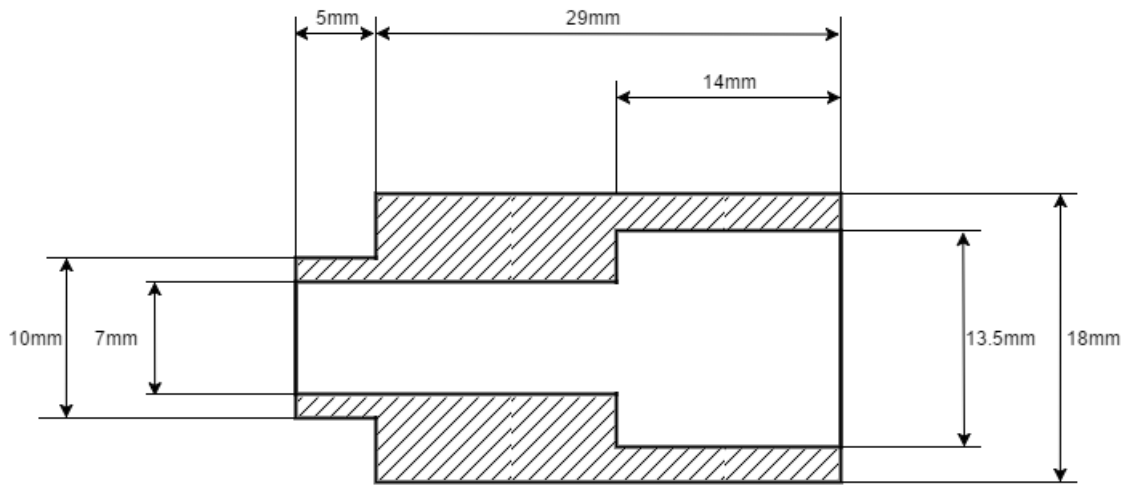
Obrázek 2.1: Konstrukce dvoutaktního motoru (převzato a upraveno z [6])	8
Obrázek 2.2: Křovinořez Husquarna 327 LDx (převzato z [7])	9
Obrázek 2.3: Skútr Vespa 50 (převzato z [8]).....	9
Obrázek 3.1: Průřez solenoidovým vstřikovačem (převzato a upraveno z [9]).....	10
Obrázek 3.2: Průřez piezo vstřikovačem (převzato a upraveno z [10])	11
Obrázek 3.3: Průřez rotačním čerpadlem (převzato a upraveno z [11]).....	12
Obrázek 3.4: Průřez pístovou pumpou (převzato a upraveno z [12])	12
Obrázek 5.1: Pumpa PLD-1206 (převzato z [13])	15
Obrázek 5.2: Bosch EV14 CKxT.....	16
Obrázek 5.3: Odfrézované žebrování válce	19
Obrázek 5.4: Pohled do válce motoru.....	20
Obrázek 5.5: Úprava karburátoru.....	21
Obrázek 5.6: Pohled na desku prototypu 1	22
Obrázek 5.7: Pohled na desku prototypu 2	23
Obrázek 5.8: Schéma zapojení driveru vstřikovače	24
Obrázek 5.9: Schéma zapojení driveru olejového čerpadla.....	25
Obrázek 5.10: Schéma zapojení driveru palivové pumpy.....	26
Obrázek 5.11: Mapa vstřikovače	30



Příloha A



Výkres příruby vstřikovače Bosch EV14



Výkres vložky vstříkovače Bosch EV14