

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství

Katedra materiálů a technologií pro automobily



Příprava komponentů pro kogenerační jednotku na CNG

Preparation of components for a CNG cogeneration unit

Autor práce: Polak Adam

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Tomčík Ph. D.

Ostrava 2018

Zadání bakalářské práce

Student: **Adam Polak**

Studijní program: B3923 Materiálové inženýrství

Studijní obor: 3911R034 Materiály a technologie pro automobilový průmysl

Téma: Příprava komponentů pro kogenerační jednotku na CNG
Preparation of components for a CNG cogeneration unit

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úprava mechanického ovládní plynu na elektronicky
2. Ověření funkčnosti na motorové brzdě
3. Kompletace motoru Kawasaki 650 s generátorem
4. Ověření funkčnosti, shrnutí dosažených poznatků

Seznam doporučené odborné literatury:

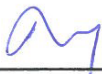
1. DUŠEK, Jiří. Elektronická škrticí klapka. Závěrečná práce, VUT Brno. 2011.
2. GREPL, Robert; LEE, Byounsoo. Návrh řízení elektronické škrticí klapky automobilového motoru, časopis AUTOMA 5/2009.
3. VYORAL, Jan. Řízení provozu travní sekačky. Závěrečná práce, UTB Zlín, 2013.
4. STEJSKAL, Marek. Přenosný zdroj elektrické energie poháněný spalovacím motorem. Závěrečná práce, ZČU Plzeň 2014.
5. BALCO, Mário. Kogenerace energie s pístovými spalovacími motory: Energy cogeneration with piston combustion engines : autoreferát. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2016. ISBN 978-80-248-3958-5.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

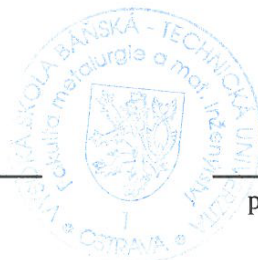
Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Petr Tomčík, Ph.D.**


Datum zadání: 30.11.2017

Datum odevzdání: 30.04.2018



doc. Ing. Petr Tomčík, Ph.D.
vedoucí katedry





prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka fakulty

Zásady pro vypracování bakalářské práce

I.

Bakalářskou prací (dále jen BP) se ověřují vědomosti a dovednosti, které student získal během studia, a jeho schopnosti využívat je při řešení teoretických i praktických problémů.

II.

Uspořádání bakalářské práce:

- | | |
|--|------------------------------|
| 1. Titulní list | 6. Obsah BP |
| 2. Originál zadání BP | 7. Textová část BP |
| 3. Zásady pro vypracování BP | 8. Seznam použité literatury |
| 4. Prohlášení + místopřísežné prohlášení | 9. Přílohy |
| 5. Abstrakt + klíčová slova česky a anglicky | |

ad 1) Titulní list je koncipován podle požadavků příslušné oborové katedry.

ad 2) Originál zadání BP obdrží student na oborové katedře.

ad 3) Tyto „Zásady pro vypracování bakalářské práce“ následují za originálem zadání BP. („Zásady pro vypracování bakalářské práce“ jsou ke stažení na webových stránkách fakulty).

ad 4) Prohlášení + místopřísežné prohlášení napsané na zvláštním listu (ke stažení na webových stránkách fakulty) a vlastnoručně podepsané studentem s uvedením data odevzdání BP. V případě, že BP vychází ze spolupráce s jinými právníckými a fyzickými osobami a obsahuje citlivé údaje, je na zvláštním listě vloženo prohlášení spolupracující právnícké nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním BP.

ad 5) Abstrakt a klíčová slova jsou uvedena na zvláštním listu česky a anglicky v rozsahu max. 1 strany pro obě jazykové verze.

ad 6) Obsah BP se uvádí na zvláštním listu. Zahrnuje názvy všech číslovaných kapitol, podkapitol a statí textové části BP, odkaz na seznam příloh a seznam použité literatury, s uvedením příslušné stránky. Předpokládá se desetinné číslování.

ad 7) Textová část BP obvykle zahrnuje:

- Úvod, obsahující charakteristiku řešeného problému a cíle jeho řešení v souladu se zadáním BP;
- Vlastní rozpracování BP (včetně obrázků, tabulek, výpočtů) s dílčími závěry, vhodně členěné do kapitol a podkapitol podle povahy problému;
- Závěr, obsahující celkové hodnocení výsledků BP z hlediska stanoveného zadání.

BP bude zpracována v rozsahu min. 25 stran (včetně obsahu a seznamu použité literatury).

Text musí být napsán vhodným textovým editorem počítače po jedné straně bílého nelesklého papíru formátu A4 při respektování následující **doporučené** úpravy - písmo Times New Roman 12b; řádkování 1,5; okraje – horní, dolní – 2,5 cm, levý – 3 cm, pravý 2 cm. Fotografie, schémata, obrázky, tabulky musí být očíslovány a musí na ně být v textu poukázáno. Budou zařazeny průběžně v textu, pouze je-li to nezbytně nutné, jako přílohy (viz ad 9).

Odborná terminologie práce musí odpovídat platným normám. Všechny výpočty musí být přehledně uspořádány tak, aby každý odborník byl schopen přezkoušet jejich správnost. Matematické vzorce musí být číslovány (v kulatých závorkách). U vzorců, údajů a hodnot převzatých z odborné literatury nebo z praxe musí být uveden jejich pramen - u literatury citován číselným odkazem (v hranatých závorkách) na seznam použité literatury. Nedostatky ve způsobu vyjadřování, nedostatky gramatické, neopravené chyby v textu mohou snížit klasifikaci práce.

ad 8) BP bude obsahovat alespoň 10 literárních odkazů, z toho nejméně 3 v některém ze světových jazyků.

Seznam použité literatury se píše na zvláštním listě. **Citaci literatury je nutno uvádět důsledně v souladu s ČSN ISO 690.** Na práce uvedené v seznamu použité literatury musí být uveden odkaz v textu BP.

ad 9) Přílohy budou obsahovat jen ty části (speciální výpočty, zdrojové texty programů aj.), které nelze vhodně včlenit do vlastní textové části, např. z důvodu ztráty srozumitelnosti.

III.

Bakalářskou práci student odevzdá ve dvou knihařsky svázaných vyhotoveních, pokud katedra garantující studijní obor neurčí jiný počet. Vnější desky budou označeny takto:

nahoře: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra

uprostřed: *BAKALÁŘSKÁ PRÁCE*

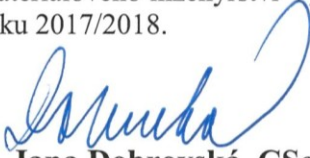
dole: *Rok* *Jméno a příjmení*

Kromě těchto dvou knihařsky svázaných výtisků odevzdá student kompletní práci také v elektronické formě do IS EDISON. Práce vložená v elektronické formě do IS EDISON se musí zcela shodovat s prací odevzdanou v tištěné formě. Po vložení BP do IS EDISON bude provedena její kontrola na plagiátorství.

IV.

Nesplnění výše uvedených zásad pro vypracování bakalářské práce může být důvodem nepřijetí práce k obhajobě. O nepřijetí práce k obhajobě rozhoduje v tomto případě garant příslušného studijního oboru. Tyto zásady jsou závazné pro studenty všech studijních programů a forem bakalářského studia fakulty metalurgie a materiálového inženýrství Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava od akademického roku 2017/2018.

Ostrava 13. 11. 2017


Prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka fakulty metalurgie a materiálového inženýrství
VŠB-TU Ostrava

PROHLÁŠENÍ

- Prohlašuji, že jsem byl (a) seznámen (a) s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního (§60 – školní dílo);
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude archivována v elektronické formě v databázi Ústřední knihovny VŠB – TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že odevzdáním své bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (Zákon o vysokých školách) bez ohledu na výsledek její obhajoby. Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval (a) samostatně.

V Ostravě 30.4.2018

.....


podpis (jméno a příjmení studenta)

Abstrakt

V této práci je řešena část vývoje kogenerační jednotky na CNG. Cílem této práce bylo upravit manuální ovládání plynu na elektronické, ověření jeho funkčnosti na skutečném spalovacím motoru a jeho následné využití jako pohonu pro generátor. Dále je v této práci vyřešeno napojení elektromotoru na spalovací motor, tak aby mohl být elektromotor použit jako generátor elektrické energie. V závěru práce jsou vyhodnoceny naměřené hodnoty výstupních parametrů generátoru.

Klíčová slova

Elektronická škrticí klapka, spalovací motor, CNG, motorová brzda, elektromotor, generátor, výkonové parametry.

Abstract

In this work, is solved part of the development of the CNG cogeneration unit. The target of this work was to edit the manual control of the gas to the electronic control, to verify its functionality on the combustion engine and use like a generator. The next point of work is solved connection of an electric motor and internal combustion engine, that the electric motor can be used for a generator of electric energy. At the end of work is measured values of the output parameters of the generator.

Key Words

Electronic valve, combustion engine, CNG, Dyna (engine breake), electric motor, generátor, performance parameters.

Poděkování

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Petr Tomčík, Ph.D. za odborné vedení, za pomoc a rady při zpracování této práce. Poděkování patří také zaměstnancům katedry, kteří byli zapojeni do tohoto projektu.

Obsah

Úvod	9
1. Úprava mechanicky ovládaného plynu na ovládání elektronické	10
1.2. Škrticí klapka	10
1.2.1. Princip škrcení průtoku vzduchu sacím potrubím	11
1.2.2. Výpočet podle jednorozměrného izoentropického proudění	14
1.2.3. Škrticí klapka ovládaná ocelovým lankem	15
1.2.4. Elektronicky ovládaná klapka	16
1.2.5. Porovnání mechanického a elektronicky řízeného řešení klapek	19
1.3. Návrh mechanické úpravy	20
1.4. Realizace mechanické úpravy	21
1.4.1. Realizace pomocí 3D tisku	21
1.4.2. Realizace výroby těla elektronického ovládání pomocí sériové škrticí klapky z motoru Škoda Octávie 1.6TDI	23
1.5. Elektronické řízení upravené škrticí klapky	27
1.5.1. Kalibrace elektronického ovládání škrticí klapky	30
2. Ověření funkčnosti škrticí klapky na motorové brzdě	31
2.2. Motorová brzda Superflow	32
2.2.1. Kalibrace tenzometru motorové brzdy:	33
2.3. Upnutí motoru s rámem k motorové brzdě	35
2.4. Testování funkčnosti klapky	36
3. Kompletace motoru Kawasaki 650 s generátorem	38
3.1. Kogenerační jednotky	39
3.2. Spalovací motor pro kogenerační jednotku (Kawasaki Versys 650)	42
3.2.1. Výkonnostní parametry spalovacího motoru Kawasaki	44
3.3. Cykly využívané u spalovacích motorů pro kogenerační jednotky	46
3.3.1. Ottův cyklus	46
3.3.2. Atkinsonův cyklus	48

3.3.3. Millerův cyklus.....	50
3.3.4. Porovnání cyklů (Ottův, Atkinsonův a Millerův).....	52
3.4. Elektromotor Schwartz pro kogenerační jednotku	53
3.4.1. Výkonové parametry elektromotoru Schwartz.....	56
4. Ověření funkčnosti, shrnutí dosažených poznatků	62
4.1. Připojení generátoru k akumulátoru	63
4.2. Měření výkonových parametrů generátoru	65
4.3. Shrnutí dosažených výsledků.....	67
Přílohy	68
Závěr.....	68
Literatura	69

Úvod

Bakalářská práce se v první části zabývá úpravou mechanicky ovládané škrticí na elektronickou. Také se zde nachází zjednodušená simulace hmotnostního toku z důvodů zjištění linearitu průběhu. Dalším okruhem je popis mechanicky a elektronicky ovládané škrticí klapky. V následujících podkapitolách se řeší realizace návrhu. Ta se dělí na možnost využití 3D technologie k vytištění monobloku z ABS plastu a na úpravu hliníkového sériového monobloku škrticí klapky. Je zde vyřešeno i samotné elektronické ovládání pomocí programovatelného čipu.

V druhé části se ověřuje funkčnost škrticí klapky na motorové brzdě. Nechybí zde popis motorové brzdy s kalibrací, ani veškeré kroky nutné k provozu motoru s upravenou klapkou. Jako důkazem funkčnosti je graf závislosti otáček na krouticím momentu za daného úhlu otevření škrticí klapky.

Třetím bodem bakalářské práce je kompletace motoru s generátorem. Toto zařízení tvoří podobné zařízení jako je kogenerační jednotka, která také obsahuje spalovací agregát a elektromotor co by generátor. V jedné s podkapitol nalezneme podrobné informace o kogenerační jednotce, elektromotoru a spalovacím motoru s používanými cykly.

Jako čtvrtá, poslední kapitola zahrnuje dosažené výsledky získané ze zcela zkompletovaného a ověřeného generátoru.

1. Úprava mechanicky ovládaného plynu na ovládání elektronické

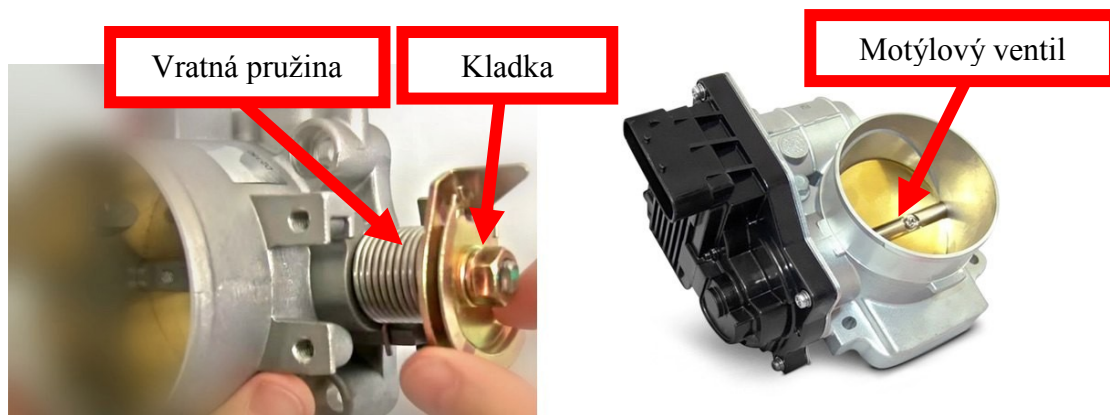
Přestavba spočívala ve změně řídicího elementu natočení škrticí klapky z mechanického na elektronické ovládání. Mechanické (bovden) ovládání je pomalé s větším mechanickým opotřebením (mechanická únava ocelového lanka) a chybí možnost začlenění do celkového elektronicky řízeného kogeneračního systému.

1.2. Škrticí klapka

Je nedílnou součástí sacího systému motoru. Její funkcí je regulovat průtok směsi paliva se vzduchem (v případě centrálního vstřikování paliva) nebo pouze vzduchu (vícebodové vstřikování paliva) potrubím. Škrticí klapka se otevírá, aby se zvýšil průtok vzduchu, jakmile se stlačí plynový pedál. Otevíráním a zavíráním škrticí klapky se zvyšuje nebo snižuje průtok směsi paliva se vzduchem, popřípadě jenom vzduchu, v závislosti na míře sešlápnutí akceleračního pedálu. Vzhledem k tomu, že elektronické systémy vstřikování paliva jsou samy o sobě řízeny počítačem, informace z různých snímačů namontovaných na škrticí klapce umožňují systému řízení motoru vozidla určit optimální průtok vzduchu do motoru.

U mechanických škrticích klapek je plynový pedál pomocí bovdenu přímo spojen s kladkou, která mění přímočarý pohyb od táhla na pohyb otáčivý a tím otevírá nebo zavírá motýlový ventil uvnitř hrdla sacího potrubí. Samovolné zavírání je zajištěno pomocí vratné pružiny, která je součástí celého mechanismu **Obr. 1**.

Novější vozidla, nemající mechanické táhlo, používají řízené elektromotory k přesnému natočení motýlového ventilu.[9]



Obr. 1 Mechanická škrticí klapka (vlevo) a elektronicky řízená klapka (vpravo), převzato z [9].

1.2.1. Princip škrcení průtoku vzduchu sacím potrubím

Pohyb plynu v potrubí je komplikovaný děj. Kvůli vlastní kinetické energii se neustále mění vzájemná poloha jednotlivých částic ve sledovaném objemu média. Každá částice má určitou rychlost. Jelikož je rychlost vektorová veličina, má svou velikost i směr v závislosti na čase. Pokud je rychlost v čase konstantní, jde o stacionární proudění. V případě že rychlost konstantní není, pak hovoříme o nestacionárním proudění. [10]

Objem kapaliny protékající daným průřezem za čas se nazývá objemový průtok Q_V . Protéká-li průřezem o plošném obsahu S kapalina rychlostí v , je objemový průtok:

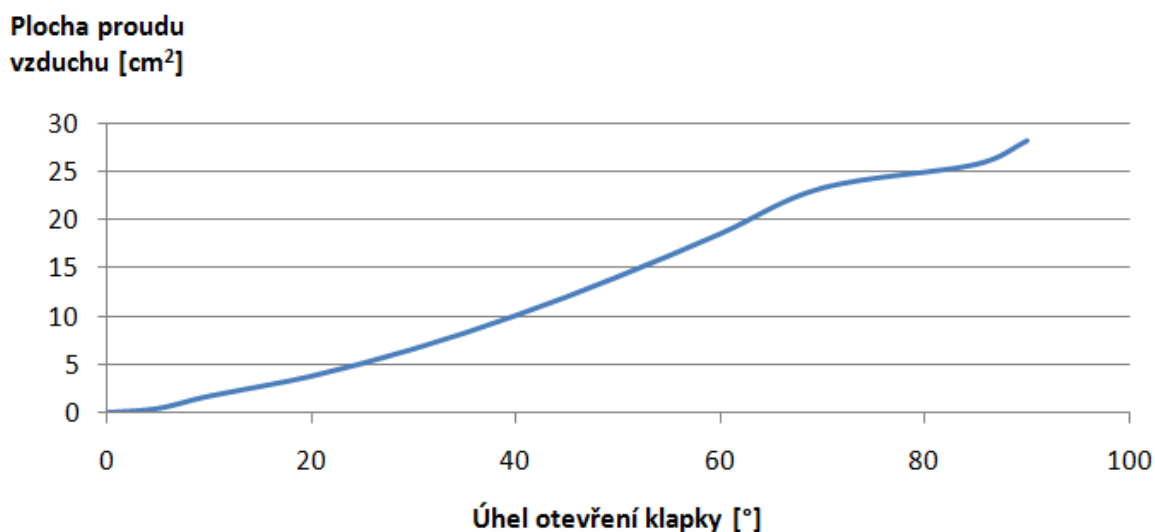
$$Q_V = S * v \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (1)$$

Plyny jsou stlačitelné, a proto se používá veličina hmotnostní průtok Q_m . Hmotnostní průtok vyjadřuje hmotnost látky, která projde průřezem trubice za jednotku času. Mezi hmotnostním a objemovým průtokem je vztah:

$$Q_m = Q_V * \rho \quad [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (2)$$

Při malých rychlostech proudění jsou proudnice rovnoběžné - laminární proudění. Při vyšších rychlostech se z důvodů tření částic tvoří víry - turbulentní proudění.

Při škrcením klapky zapříčiníme zvětšení plochy S motýlového ventilu a tím snížíme objemový průtok, jenž přímo ovlivní hmotnostní průtok Q_m a do sacího traktu se dostává menší množství atmosférického vzduchu. Závislost plochy proudícího vzduchu na úhlu otevření motýlového ventilu můžeme vidět na **Obr. 2**. [10]



Obr. 2 Závislost Plochy proudícího vzduchu na úhlu otevření škrtící klapky.



Obr. 3 Škrtkací klapka s pootevřeným motýlovým ventilem.

Pro výpočet plochy proudu vzduchu byl použit zjednodušený model pomocí elipsy, protože ústí klapky je kruhového průřezu a stejně tak motýlový ventil. V momentě jeho pootevření se z kruhu stává elipsa, viz Obr. 3.

Rovnice plochy elipsy:

$$S = \pi * a * b \quad (3)$$

Touto rovnicí byla vypočtena plocha motýlového ventilu v sacím traktu. Ta byla odečtena od maximální plochy sacího traktu a tím vyšla plocha proudu vzduchu.

Po změření rychlosti vzduchu byl vypočítán objemový a následně hmotnostní průtok. V automobilech se pro měření množství nasávaného vzduchu používají tzv. váhy vzduchu.

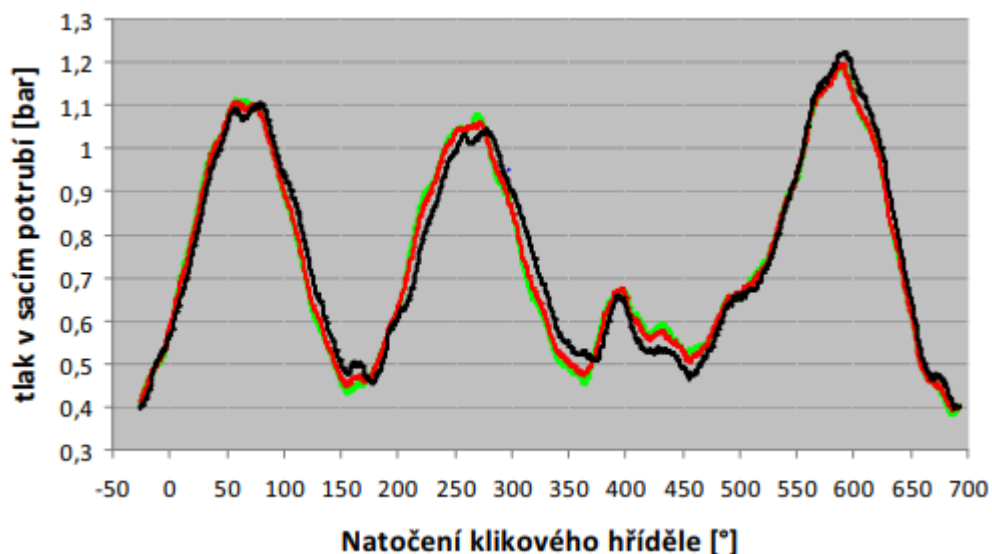
Typickým zástupcem „váhy vzduchu“ může být princip ohřivaného odporového drátku, kdy je tento ohříván na teplotu převyšující asi o 100 °C teplotu měřeného vzduchu. Aby se teplota udržovala na konstantní hodnotě, musí se odpovídajícím způsobem měnit i topný elektrický proud. Tato metoda je velice dynamická – schopná zaznamenávat změny v řádu ms.

Pro výpočet rychlosti v potrubí se používá Wantzelova rovnice, která udává rychlost v zúženém místě v tomto případě motýlový ventil.

Wantzelova rovnice:[11]

$$v_0 = \sqrt{2 * \frac{k}{k-1} * rT_0 \left(1 - \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right)} [m*s^{-1}] \quad (4)$$

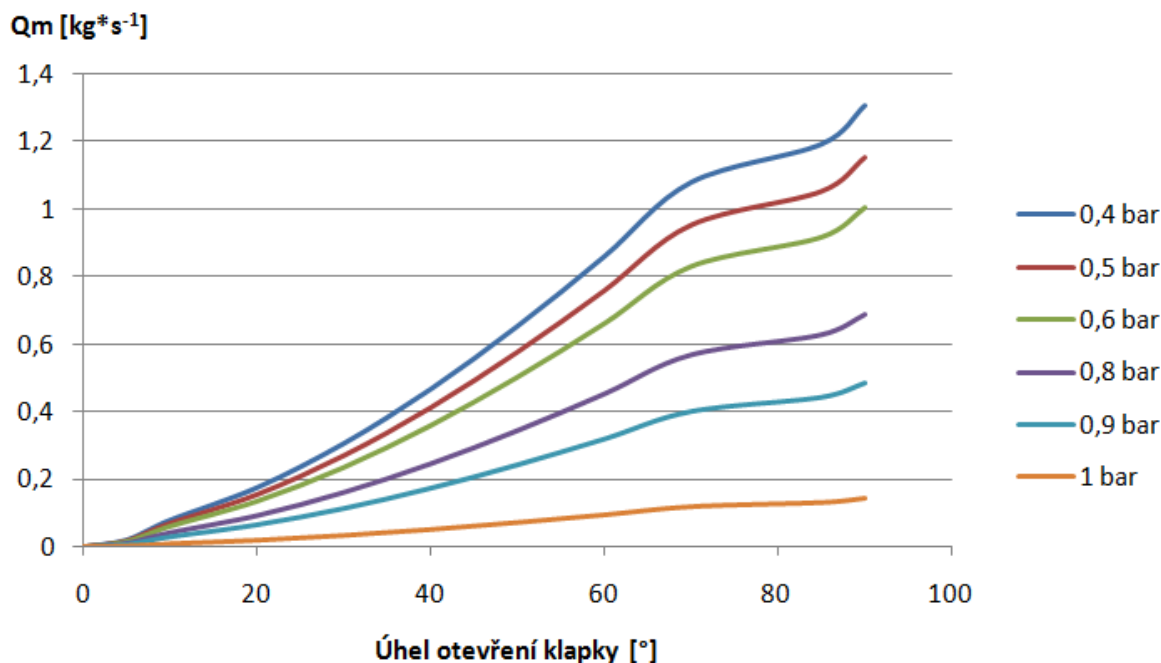
Pro výpočet rychlosti použijeme data ze simulace sání motoru s elipsovitým sacím traktem. Za p byl dosazen atmosférický tlak a za p_0 tlak v sání, r je univerzální plynová konstanta a T_0 bude 0 °C neboli 273,15 K, k je Poissonova konstanta 1,4. Grafické znázornění závislosti hodnot tlaku v sání na poloze klikové hřídele, viz Obr. 4.



Obr. 4 Závislost tlaku v sacím potrubí na natočení klikové hřídele, převzato z [13].

Výsledek vzorce pro Q_v byl dosazen do vzorce pro hmotnostní tok Q_m . Následně byla vyobrazena závislost mezi úhlem otevření motýlového ventilu a hmotnostním tokem pro daný podtlak v sání, viz **Obr. 5**.

Po získání hmotnostního toku Q_m je možné spočítat pomocí stechiometrického koeficientu 14/1 množství spotřeby paliva. Cílem této simulace bylo především zjistit, zdali je průběh hmotnostního toku na úhlu pootevření motýlového ventilu (klapky) lineární.



Obr. 5 Závislost objemového toku na úhlu otevření klapky pro dané tlaky p_0 .

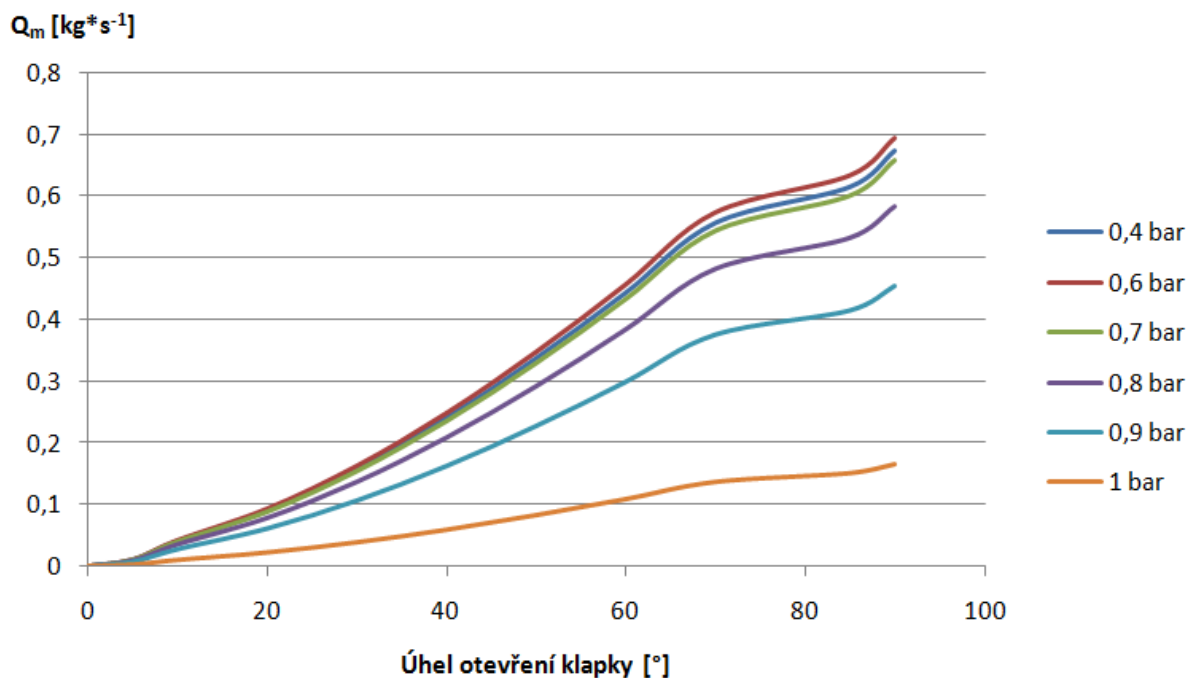
1.2.2. Výpočet podle jednorozměrného izentropického proudění

„Množství vzduchu proudící přes škrticí klapku je vypočteno jako jednorozměrné izentropické proudění, které je funkcí průtočného průřezu škrticí klapky, poměru sacího a atmosférického tlaku, teploty a univerzální plynové konstanty podle rovnice (5).“[12]

$$Q_m = S * \frac{p_{atm}}{\sqrt{r * T_{atm}}} * \sqrt{\frac{2 * K}{K - 1} \left[\left(\frac{p_{sac}}{p_{atm}} \right)^{\frac{2}{K}} - \left(\frac{p_{sac}}{p_{atm}} \right)^{\frac{K + 1}{K}} \right]} \quad [\text{kg} * \text{s}^{-1}] \quad (5)$$

kde je S průtočný průřez přes škrticí klapku, p_{sac} tlak v sacím potrubí, r univerzální plynová konstanta, K poissonova konstanta, p_{atm} atmosférický tlak a T_{atm} atmosférická teplota.[12]

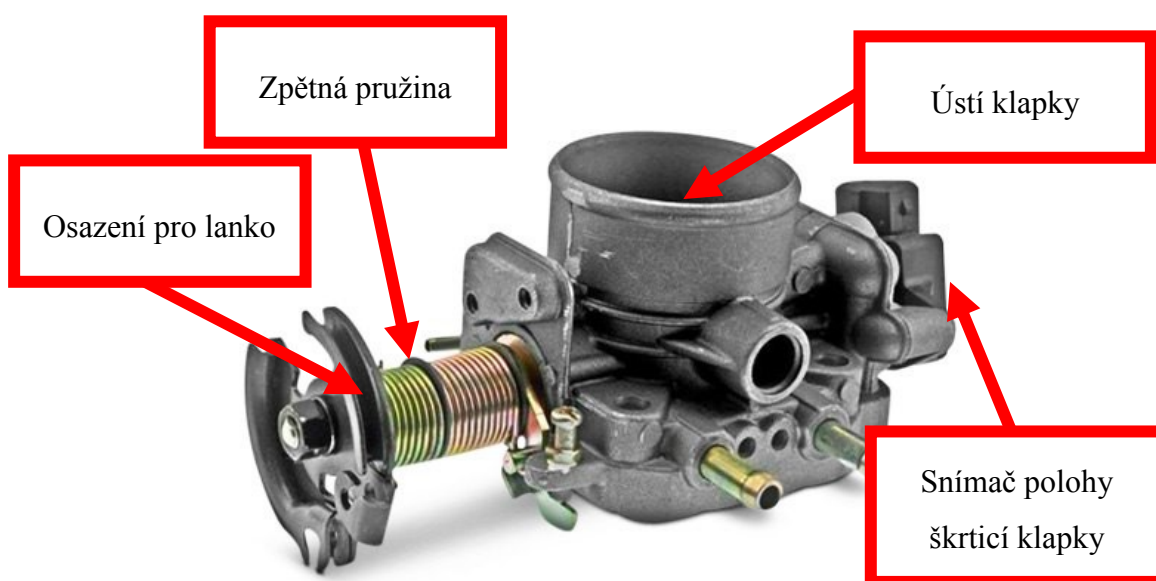
Pro podmínky, které byly použity i v případě Wantzelovy rovnice vyšel graf závislosti hmotnostního toku Q_m a úhlu otevření klapky, viz **Obr. 6**. I tady bylo cílem zjistit, jestli je závislost hmotnostního průtoku na úhlu pootevření klapky lineární. Z obou grafů je zřejmé, že průběhy jsou lineárního charakteru.



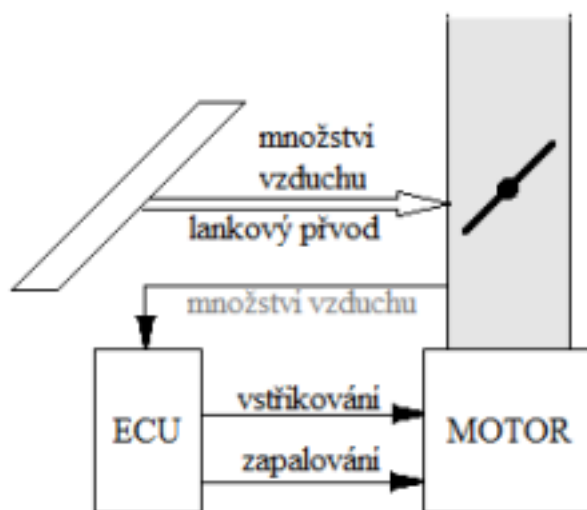
Obr. 6 Závislost hmotnostního toku na úhlu otevření klapky pro dané tlaky p_0 .

1.2.3. Škrticí klapka ovládaná ocelovým lankem

Pro regulaci průtoku vzduchu do motoru se využívá mechanické škrticí klapky. Dříve se umísťovala do karburátoru a spolu s rozptýleným palivem přiváděla do spalovacího prostoru vzniklou směs. V dnešní době se pro vstřík paliva využívají elektronické vstříky a škrticí klapka má za úkol přivádět pouze atmosférický vzduch. Klapky ovládané ocelovým lankem (bovdenem) jsou vyznačovány spřažením osy klapky a kladkou, na kterém je uchyceno lanko, přivírající motýlový ventil, viz **Obr. 7**. I tyto škrticí klapky mají elektronické řízení, ale v tomto případě se jedná jen o informaci o úhlu natočení motýlového ventilu, ne její ovládní. [9]



Obr. 7 Škrticí klapka pro motor GM a Mitsubishi, převzata z [9].



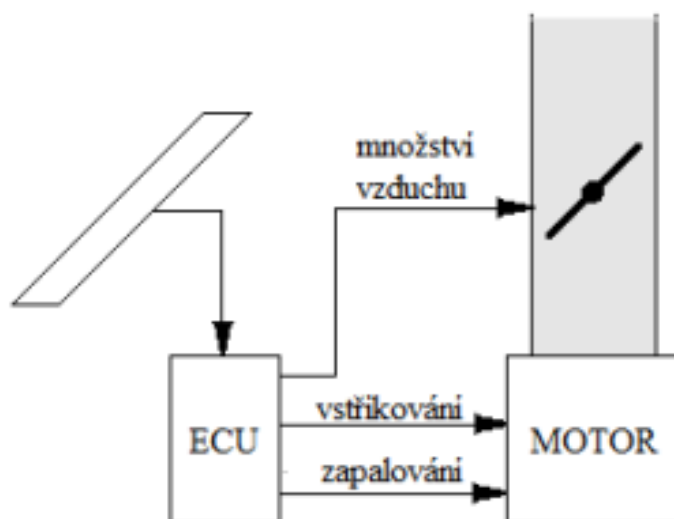
Obr. 8 Schéma principu mechanické klapky, převzata z [14].

1.2.4. Elektronicky ovládaná klapka

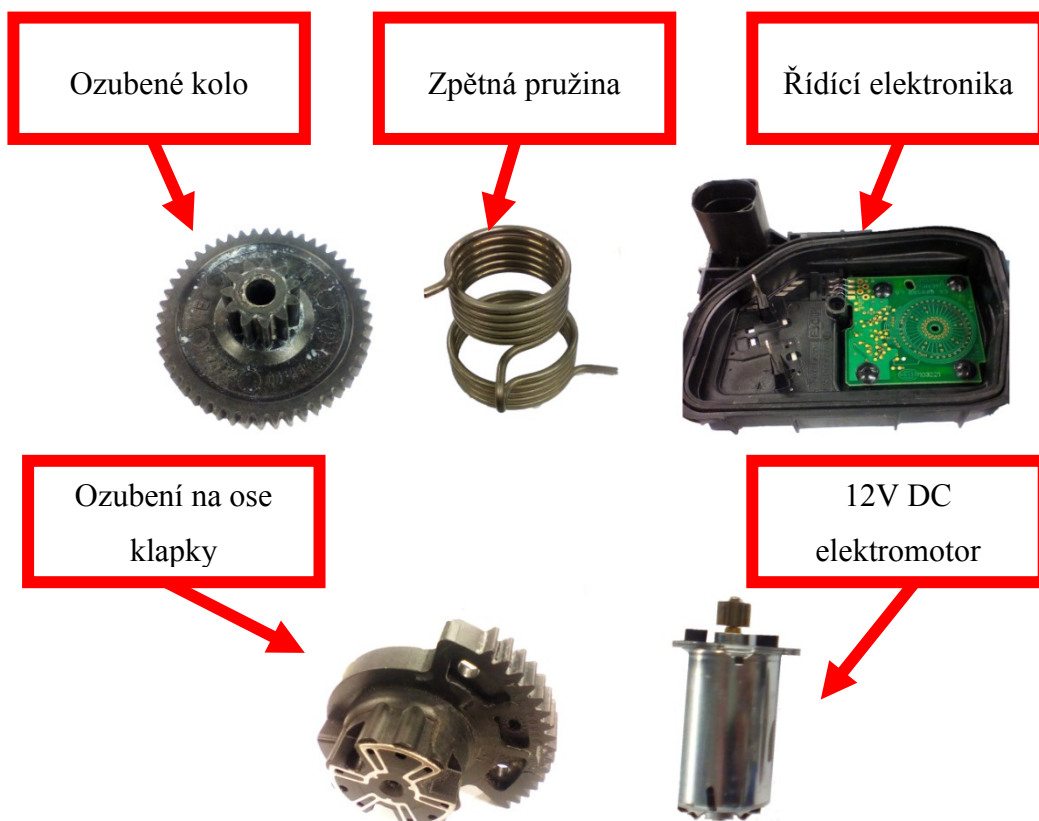
Tato škrticí klapka je tvořen odlitkem slitiny hliníku, jako obal, a několika součástkami jako například: elektromotor, osa s ozubením, vybráním pro samotnou klapku v průchozí části a zpětná pružina, toto vše je vidět na **Obr. 10**. [14]

Otevření klapky závisí na stlačení plynového pedálu, jenž je snímán odporovým snímačem (většinou potenciometrem). Dále je otevření klapky závislé na signálu ze snímače otáček klikové hřídele a hmotnosti nasávaného vzduchu. Tyto informace řídicí jednotka vyhodnotí a vyšle signál k elektromotoru vně škrticí klapky, který natočí motýlový ventil do požadované polohy.

Zpětnou vazbou pro řídicí jednotku je snímač polohy škrticí klapky, který je měřen buďto dvoucestným potenciometrem nebo optoelektronickým snímačem, jehož konstrukci tvoří led dioda a fototranzistor. [14]

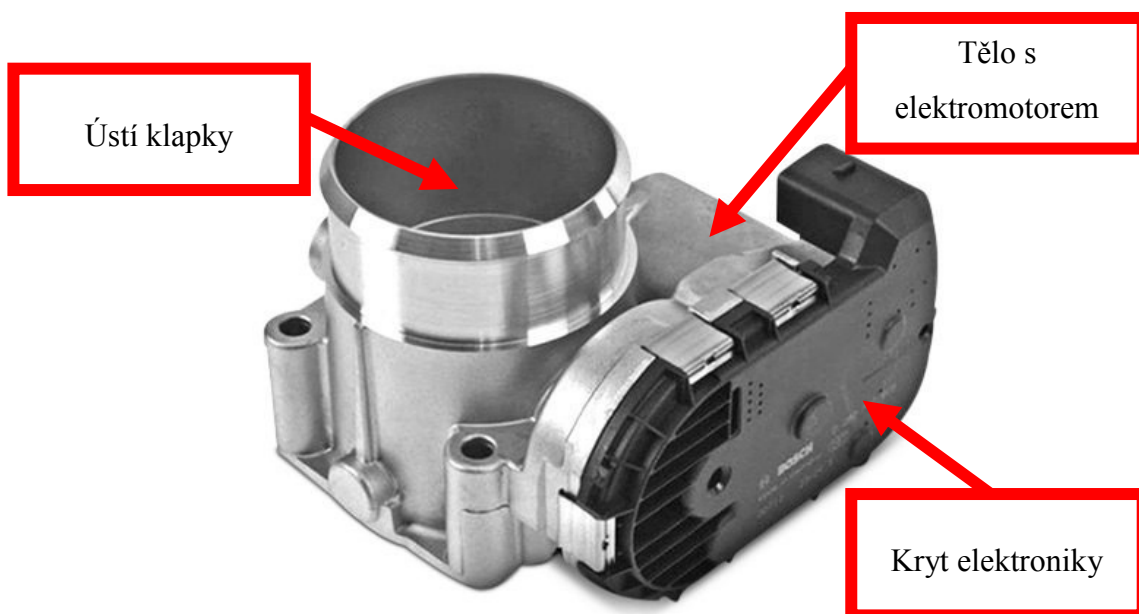


Obr. 9 Schéma principu elektronicky ovládané klapky. Převzato z [14].



Obr. 10 Součásti škrticí klapky motoru 1.6Tdi.

Příklad elektronicky ovládané škrticí klapky je vidět na **Obr. 11**, jedná se o škrticí klapku vyrobenou firmou BOSCH a obsahuje všechny potřebné díly pro regulaci průtoku vzduchu.



Obr. 11 Škrticí klapka firmy BOSCH, převzato z [9].

Motor, který ovládá polohu klapky je většinou řízený pulzní šířkovou modulací (PWM) po CAN sběrnici (Control Area Network) z řídicí jednotky. Příklad PWM signálu můžeme vidět na **Obr. 12**.



Obr. 12 Příklad průběhu PWM signálu.

PWM signál znázorňuje šířku logické 1, která je přímo úměrná výkonu motoru podle toho, kolik je potřeba vynaložit síly na přetlačení torzní vratné pružiny. Pro výpočet momentu síly pružiny M_k platí rovnice:

$$M_k = k * \phi + q \text{ [N*m]} \quad (6)$$

kde M_k je moment síly dané pružiny, k je tuhost pružiny, ϕ je úhel natočení klapky a q je předpětí pružiny [14]

Výsledný výkon udávaný PWM signálem je převeden na moment síly motoru. Ten v závislosti na požadavku řídicí jednotky nabírá hodnot pro jednotlivé stavy.

$M_{kM} < M_{kP}$ Klapka se zavírá

$M_{kM} > M_{kP}$ Klapka se otevírá

$M_{kM} = M_{kP}$ Klapka je udržována na požadovaném úhlu otevření

M_{kM} je Moment síly motoru a M_{kP} je moment síly pružiny.

1.2.5. Porovnání mechanického a elektronicky řízeného řešení klapek

Obě tyto řešení mají dnes své uplatnění, mechanické lankové ovládaní používají jednodušší zahradní zařízení, a určité modely automobilů, například závodní speciály. Naproti tomu elektricky řízené škrticí klapky se používají ve složitějším zařízení jako osobní automobil či motorka.[14]

U klapek ovládanými ocelovým lankem je velkou výhodou její jednoduchost principu a servisu. Řidič má přímě spojení s úrovní otevření škrticí klapky.

U elektronicky řízených klapek je podstatně složitější princip a servis, což je pozitivně vyváženo následujícími vlastnostmi:

- dodání optimálního množství vzduchu
- výkon motoru
- spotřeba paliva
- komfort jízdy

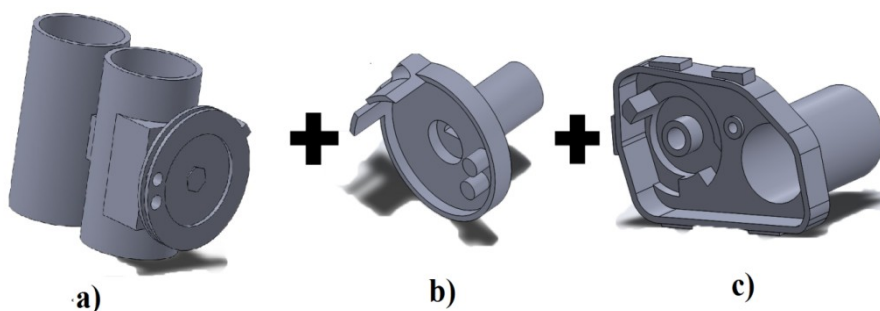
1.3. Návrh mechanické úpravy

Konkrétní řešení zahrnovalo použití stávající škrtkové klapky, jejíž jednoduché provedení snižuje riziko vzniku poruchy a současně vyhovuje rozměrům sacího traktu, které nesmí být změněno z důvodu ovlivnění výkonu motoru.



Obr. 13 Návrh a realizace konečné úpravy.

Kladka ovládající osu klapky se přes plastový element spojila s tělem elektronického řízení, cílová úprava je s popisem jednotlivých použitých částí uvedena na **Obr. 13**. Zjednodušený schematický model je na **Obr. 14**.



Obr. 14 Schematické řešení úpravy řízení.

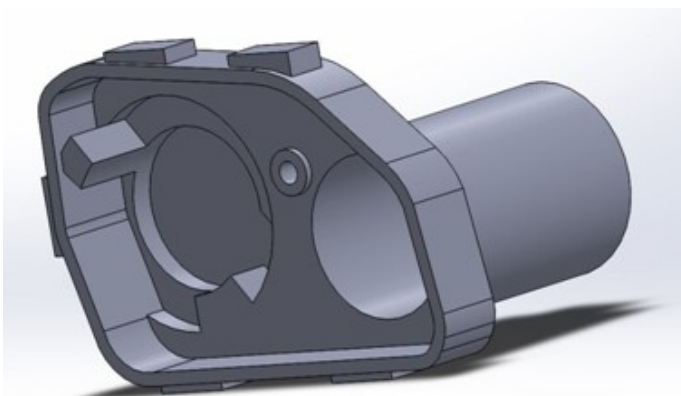
a) Kladka osy stávající klapky, b) Plastový spojovací element, c) Tělo elektronického řízení.

1.4. Realizace mechanické úpravy

Tělo elektrického zařízení vyrobeného pomocí technologie 3D tisku vykazovalo vysoké nepřesnosti souososti vůči ose klapky. Tato nepřesnost způsobila vysoké tření kovové osy a plastového těla, což vedlo k rozhodnutí použít hliníkový monoblok těla škrticí klapky ze Škody Octávie 1,6 TDI, viz Obr. 19.

1.4.1. Realizace pomoci 3D tisku

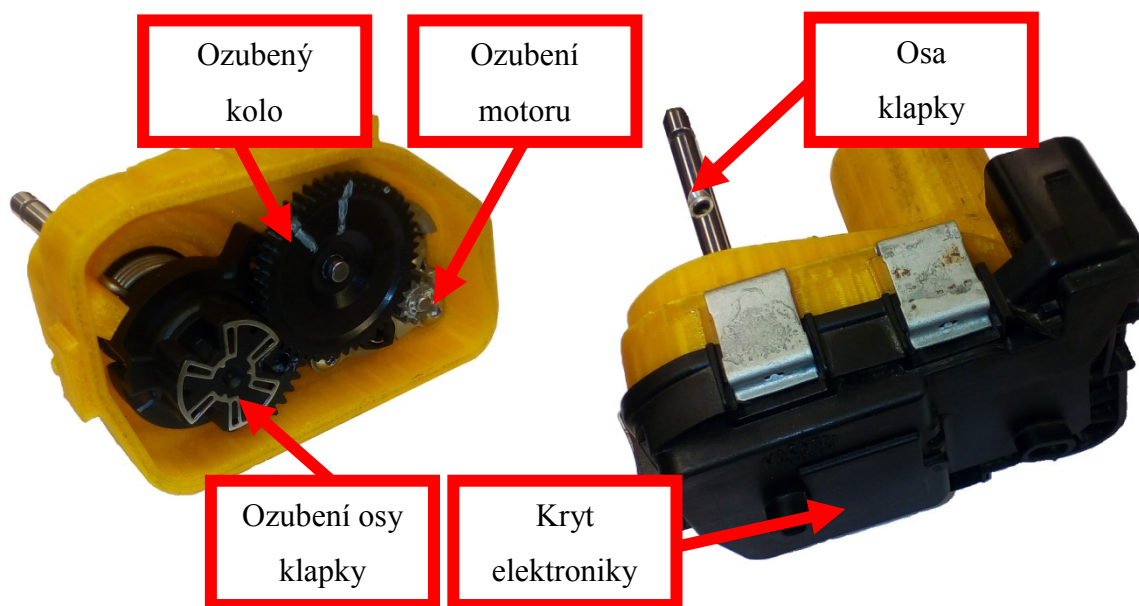
Vytisknuté součásti byly navrženy a vymodelovány v programu Solidworks na základě naměřených rozměrů původních součástí na spalovacím motoru osazených, viz Obr. 15.



naměřených rozměrů původních součástí na spalovacím motoru osazených, viz Obr. 15. Jako materiál pro tisk byl zvolen ABS plast, schopný odolávat vysokým teplotám v blízkosti motoru.

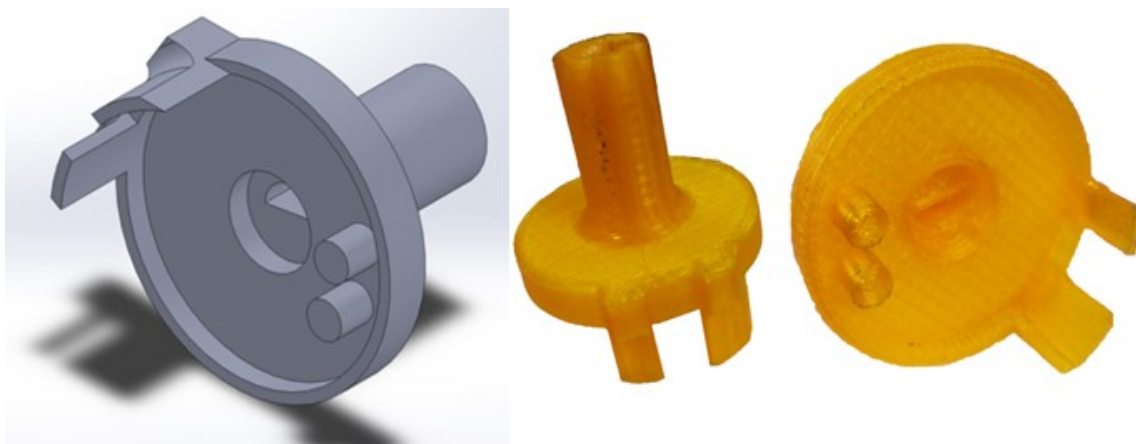
Obr. 15 3D model těla v programu Solidworks.

Na Obr. 16, je vyobrazeno vytisknuté, obrobené a všemi komponenty osazené elektronické řízení škrticí klapky.



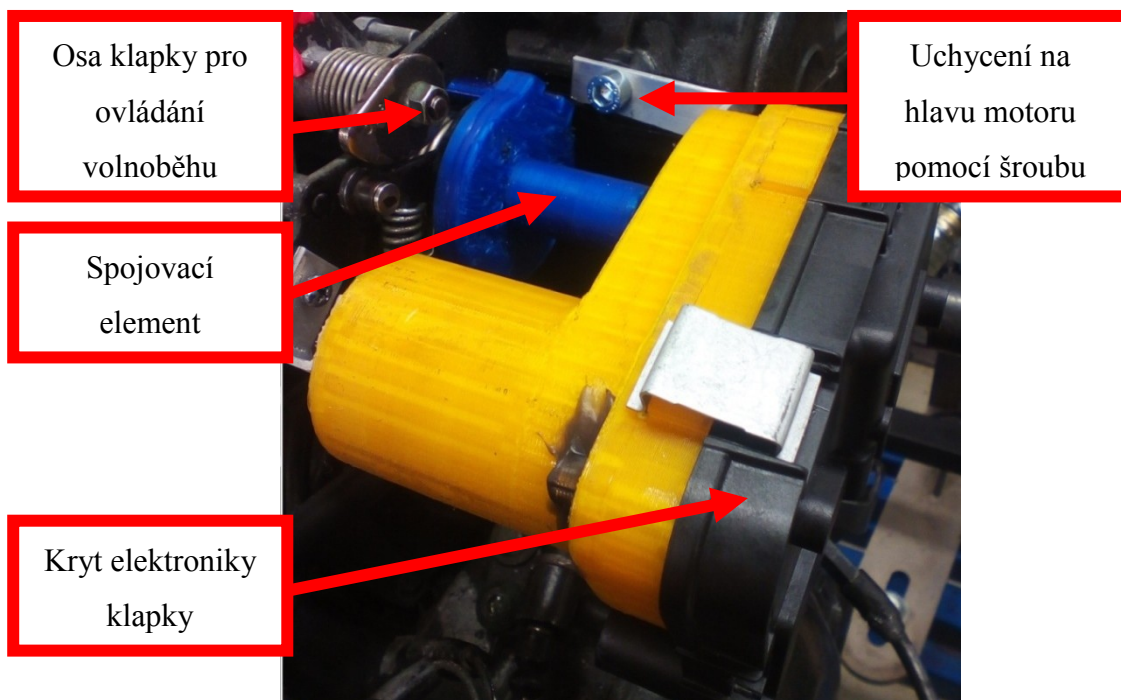
Obr. 16 3D výtisk se součástmi pro řízení.

Další díl, zobrazen na **Obr. 17** je spojovací element, který slouží k propojení a přenosu krouticího momentu z hřídele elektrického řízení na osu škrticí klapky.



Obr. 17 3D model spojovacího elementu (vlevo), vytištěný spojovací element (vpravo).

Elektronické řízení bylo přes spojovací element osazeno na kladku škrticí klapky. Samotné uchycení takto zkompleťované součásti bylo realizováno za pomoci šroubů ČSN EN ISO 4762 M6x20 a pomocné konzole k bloku motoru, viz **Obr. 18**. Takto realizované řízení se zprvu jevilo jako funkční, ale při pokusu o pootevření klapky se ukázalo, že nesouosost a tření výtisku jsou natolik velké, že regulace nebyla možná. V celém rozsahu dráhy docházelo k zadrhávání osy elektrického řízení škrticí klapky a místy k úplnému zaseknutí, což vedlo k zavrnutí použití tištěného těla elektroniky.



Obr. 18 Komponenty pro elektronické řízení spojené s kladkou.

1.4.2. Realizace výroby těla elektronického ovládání pomocí sériové škrticí klapky z motoru Škoda Octávie 1.6TDI

Alternativou k výše uvedenému řešení bylo použití sériově vyráběné škrticí klapky z motoru 1.6 TDI, viz **Obr. 19**. Tato byla demontována z motoru a následně odstrojena od řídicí elektroniky. Tělo elektroniky bylo upraveno tak aby se vešlo do konstrukčně vymezeného prostoru. Ústí klapky bylo odřezáno a následně obrobeno z důvodu eliminace ostrých hran. Dalším krokem úpravy bylo tmelení funkčních ploch, na které se posléze nalepily spojovací úchyty sloužící k propojení mezi motorem a tělem elektronického řízení.



Obr. 19 Tělo originálního elektronického řízení klapky z motoru 1.6TDI.

Úpravy sériové škrticí klapky 1.6 TDI



Ústí klapky se muselo odřezat z důvodů vložení zkrácené osy elektronického ovládání a také možnosti uchycení na motor.

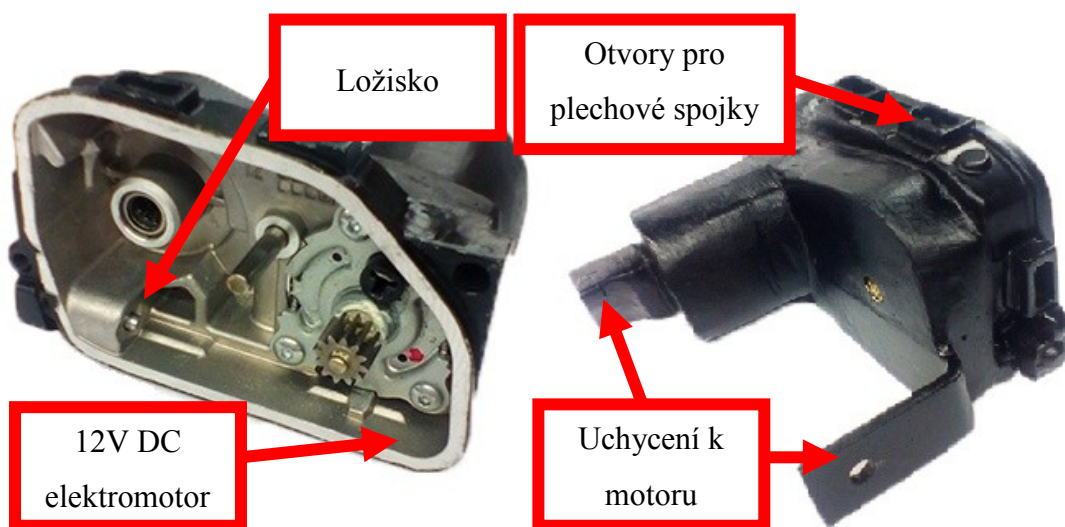


Plocha vytvořená tmelením (Místo pro plastový spojovací element)

Prodloužené tělo pro uchycení na motor, realizované lepením.

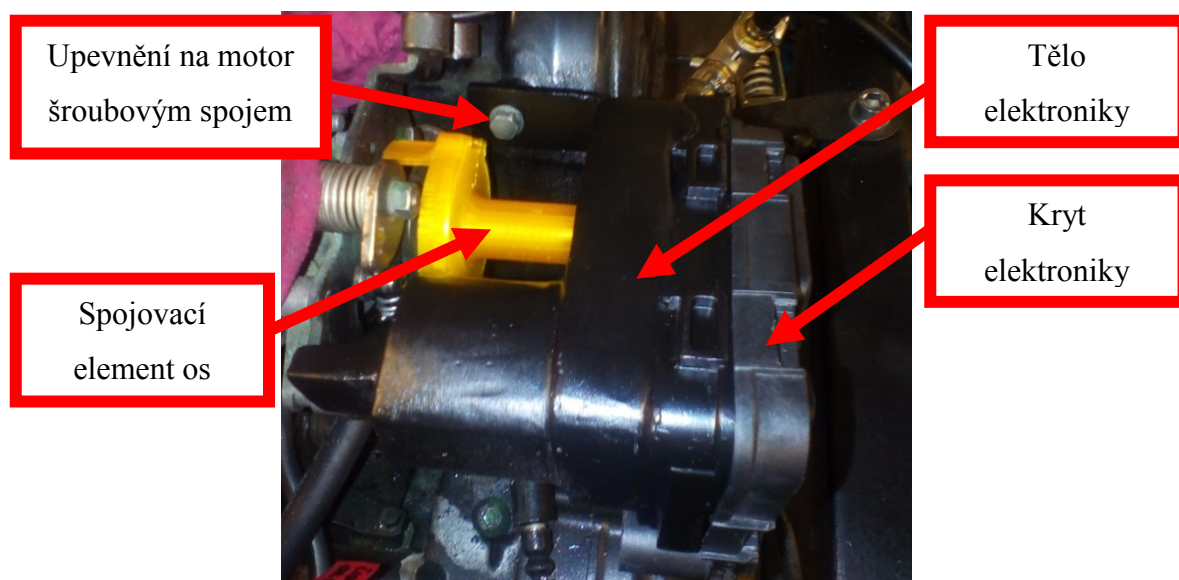
Obr. 20 Provedené úpravy na sériové škrticí klapce.

Na **Obr. 21** lze vidět už upravené tělo elektroniky i s vnitřním elektromotorem na 12V DC. Ložisko vlisované v otvoru pro osu elektronického řízení zajišťuje plynulý pohyb bez zadrhávání.



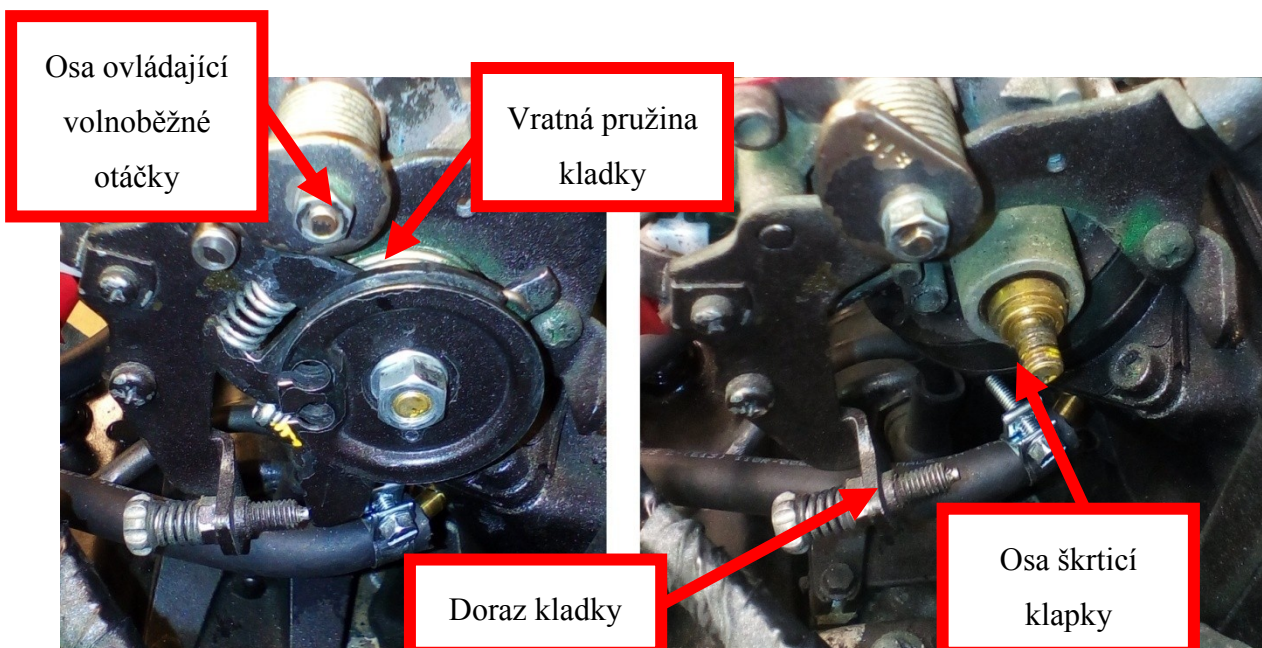
Obr. 21 Upravené tělo pro elektronické řízení.

Instalace na blok motoru probíhala totožně, jako tomu bylo v kapitole **1.4.1** Realizace pomocí 3D tisku, pouze s tím rozdílem, že plastové tělo elektroniky bylo nahrazeno upraveným hliníkovým tělem, viz **Obr. 22**.



Obr. 22 Zrealizované elektronické ovládání klapky.

Při zkouškách pootočení klapky, se objevil problém s velkou tuhostí pružiny na stávající kladce a musela být demontována, viz **Obr. 23**.



Obr. 23 Demontáž zpětné pružiny základní klapky.

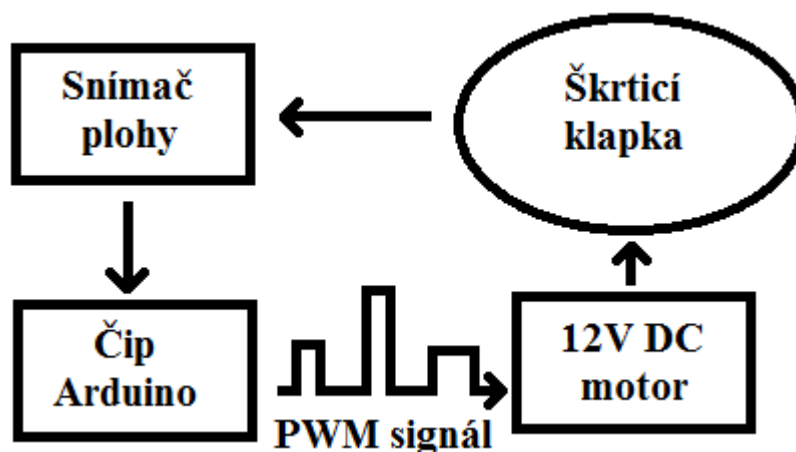
Součet odporových sil, které kladky obě výše zmíněné vratné pružiny překračoval velikost síly, jež byl schopen vyvinout elektromotor, proto byla vratná pružina kladky odstraněna. Veškerý vratný pohyb dále zajišťovala dostatečně silná pružina v těle elektronického řízení, viz **Obr. 24**.



Obr. 24 Zpětná pružina elektronického ovládní.

1.5. Elektronické řízení upravené škrticí klapky

Elektronické řízení pracuje na programovatelném čipu Arduino, které po naprogramování dokáže pomocí magnetického snímače regulovat otevření klapky od hodnot 5° do plného otevření tedy 90° . Blokové schéma regulace, viz **Obr. 25**.



Obr. 25 Blokové schéma elektronického ovládání s jednotlivými komponenty.

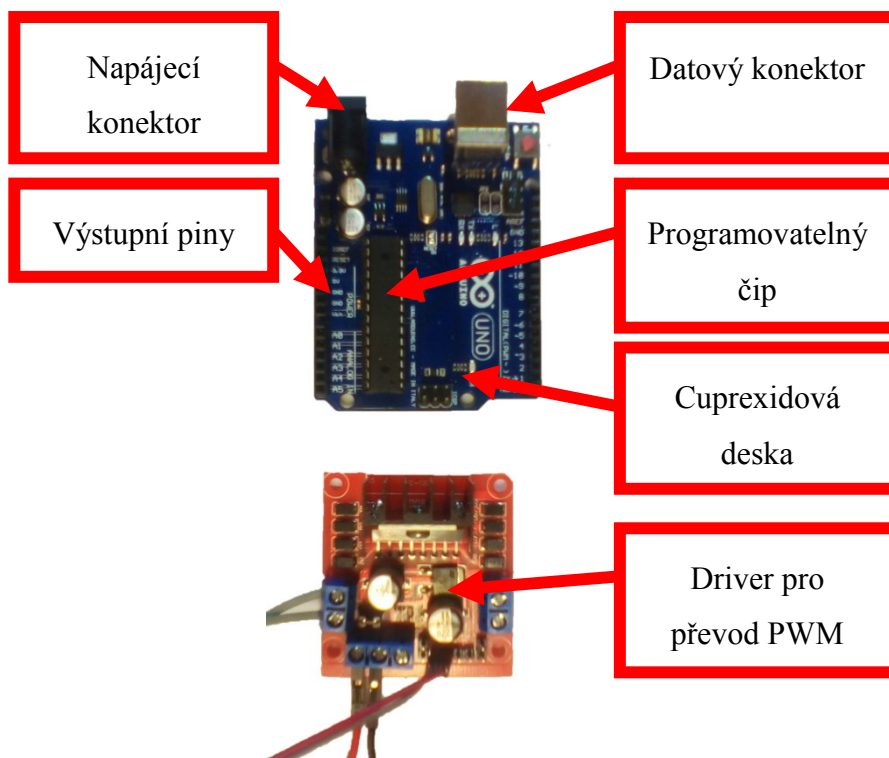
Řídící program, viz **Obr. 26**, byl zkomprimován a nahrán do programovatelného čipu, viz **Obr. 27** a ten přes „Driver“ zpracoval a převedl datový signál na pulzní šířkový signál, který přímo řídí 12V DC motor v ústrojí těla klapky.

```
MotorShieldKlapka | Arduino 1.6.12
Soubor Úpravy Projekt Nástroje Nápověda
MotorShieldKlapka
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  //Setup Channel A
  pinMode(MOTOR_CH_A, OUTPUT); //Initiates Motor Channel A pin
  pinMode(BRAKE_CH_A, OUTPUT); //Initiates Brake Channel A pin
  pinMode(PIN_INPUT1, INPUT); //Sensor 1
  pinMode(PIN_INPUT2, INPUT); //Sensor 2
  pinMode(PIN_PEDAL, INPUT); //Pedal sensor

  //initialize the variables we're linked to
  Input = analogRead(PIN_INPUT1);
  Setpoint = 165;

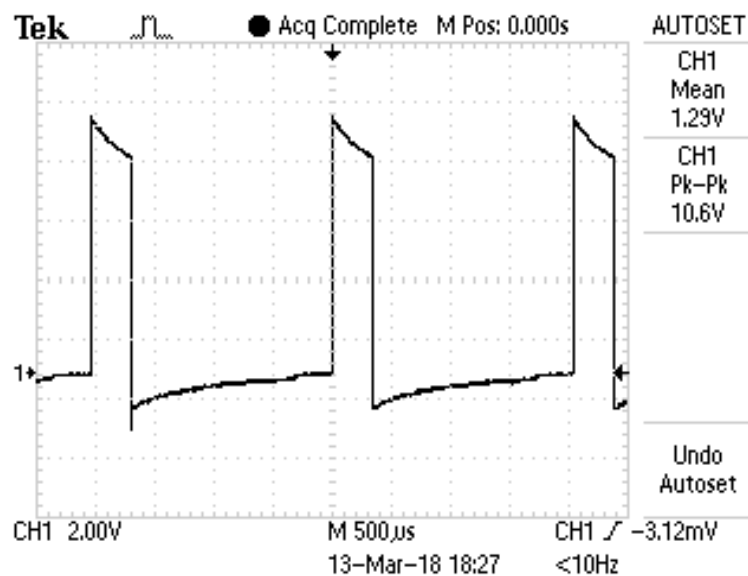
  //turn the PID on
  myPID.SetMode(AUTOMATIC);
  myPID.SetOutputLimits(0, 230);
}
void loop() {
```

Obr. 26 Ukázka programovacího jazyka pro Arduino.



Obr. 27 Sestava programovatelného čipu.

Pulzní šířkový signál byl zachycen na osciloskopu, viz **Obr. 28**, Tento signál moduluje jak amplitudu, tak šířku pulzu. V případě 15° otevření škrticí klapky je amplituda 10,6V a šířka pulzu 330 μ s.



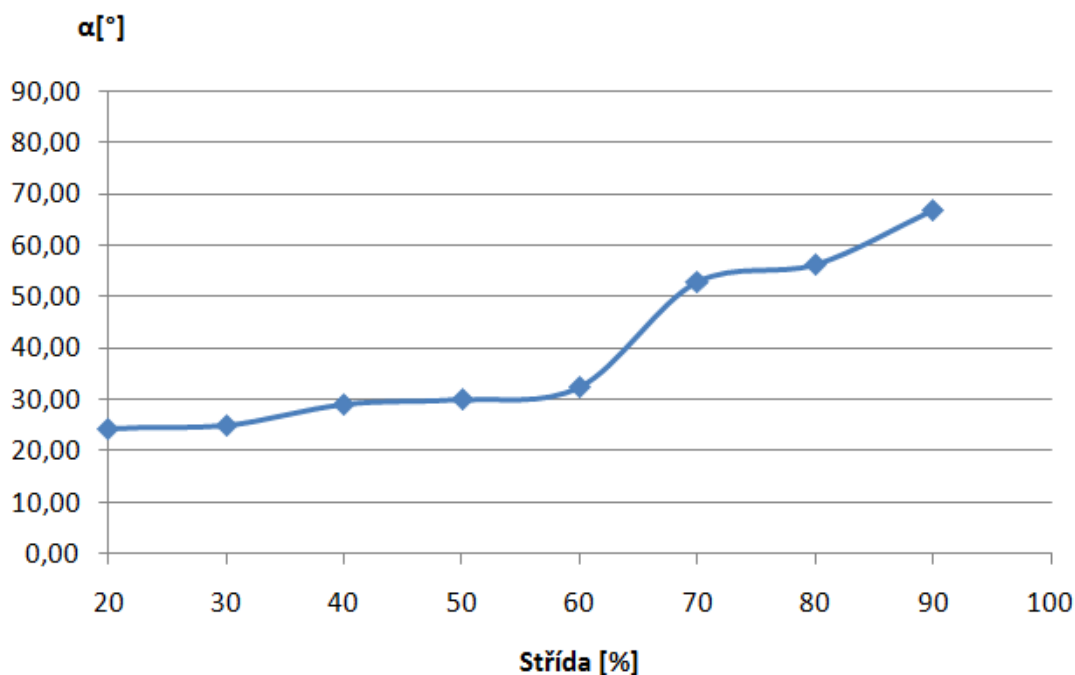
Obr. 28 Signál pulzní šířkové modulace z Arduina.

Naměřená data vycházející z programovatelného čipu ve formě pulzní šířkové modulace jsou zaznamenána v tabulce, viz **Tabulka 1**.

Tabulka 1 Data Pulzní šířkové modulace

α [°]	šířka pulzu HIGH [μ s]	šířku pulzu LOW [μ s]	Střída [%]
10	350	1650	21,21
20	390	1610	24,22
30	400	1600	25,00
40	450	1550	29,03
50	460	1540	29,87
60	490	1510	32,45
70	690	1310	52,67
80	720	1280	56,25
90	800	1200	66,67

Z naměřené tabulky byla vykreslena závislost úhlu natočení škrticí klapky a střídý signálu, viz **Obr. 29**. Střída je ukazatelem výkonnosti elektromotoru, znázorňuje výkon pro elektromotor ve škrticí klapce. V oblasti od 25° do 30° je křivka výkonu elektromotoru lineární a od 30° do 55° dochází nelinearity z důvodu menšího mechanického odporu škrticí klapky.



Obr. 29 Závislost úhlu natočení škrticí klapky na střídě pulzní šířkového signálu.

1.5.1. Kalibrace elektronického ovládání škrticí klapky

Kalibrace upraveného řízení je zajištěna samotným programem, kde po zapnutí ovládaného systému proběhne pohyb klapky z minima (5° otevření klapky) do maxima (90° otevření klapky) a zpět do počáteční hodnoty. Během tohoto pohybu si program ukládá hodnoty polohy škrticí klapky ze snímače polohy. Tyto hodnoty pak sám používá pro určení přesné polohy škrticí klapky na základě požadavku daného uživatelem. Část programu zaměřená na automatickou kalibraci, viz **Obr. 30**.

```
void autocalibration() {
  //Uložení hodnot snímačů při zavřené klapce
  s1_min = analogRead(PIN_INPUT1);
  s2_max = analogRead(PIN_INPUT2);

  //Otevření klapky na doraz
  for(int i = 100; i <= 230; i++){
    analogWrite(PIN_OUTPUT, i);
    delay(5);
  }
  delay(100);

  //Uložení hodnot snímačů při otevřené klapce
  s1_max = analogRead(PIN_INPUT1);
  s2_min = analogRead(PIN_INPUT2);

  //Zavření klapky
  for(int i = 230; i >= 0; i--){
    analogWrite(PIN_OUTPUT, i);
    delay(5);
  }
  delay(100);

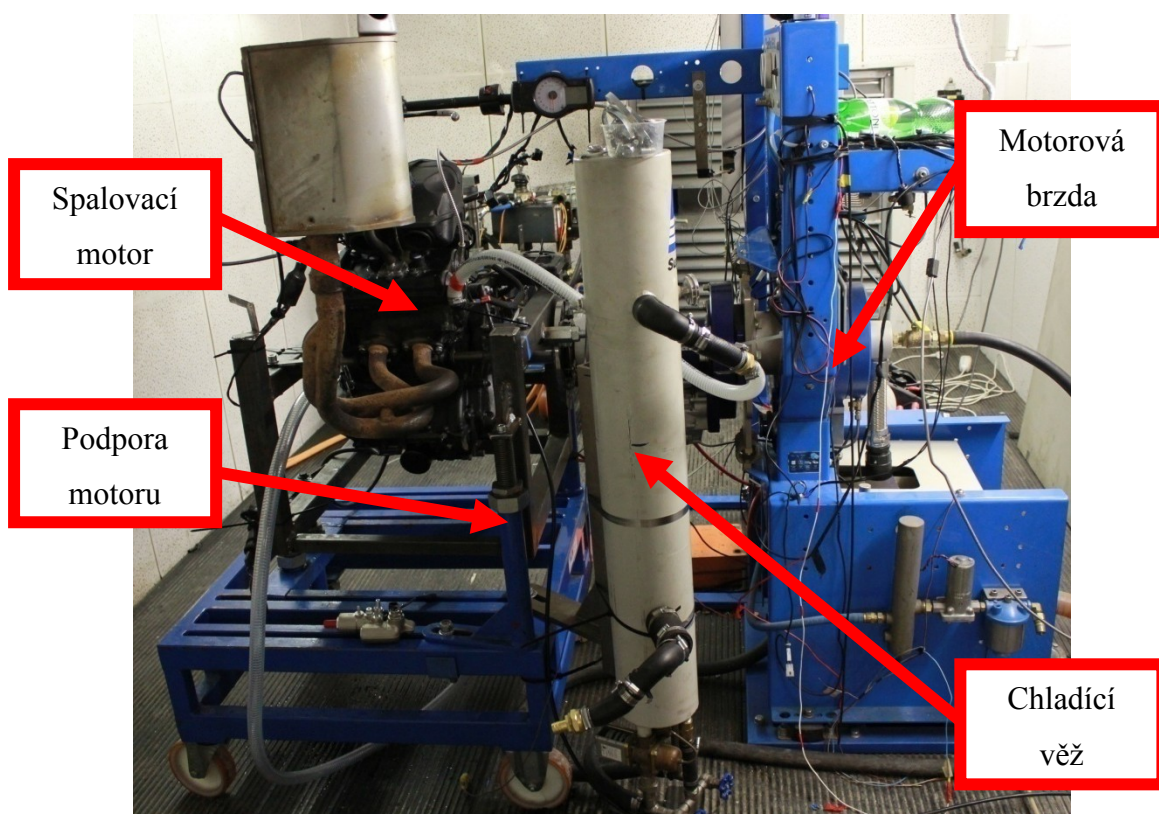
  //Uložená hodnot do paměti EEPROM
  EEPROM.write(0xF0, s1_min/256);
  EEPROM.write(0xF1, s1_min);
  EEPROM.write(0xF2, s1_max/256);
  EEPROM.write(0xF3, s1_max);

  ...
}
```

Obr. 30 Část programu kde je zachycena autokalibrace.

2. Ověření funkčnosti škrticí klapky na motorové brzdě

Cílem této části bylo ověření funkčnosti upravené elektronicky řízené škrticí klapky na motoru Kawasaki Versys 650. Motor byl s upravenou škrticí klapkou upevněn ke konstrukci motorové brzdy, viz **Obr. 31**. V místnosti bylo zajištěno odvětrávání spalin ventilátorem umístěným v zkušební místnosti motorů, rovněž bylo instalováno chlazení v podobě chladicí věže, jenž reguluje teplotu vody na 75-80°C. K tomu přispívá přívod vody z externí nádrže umístěné mimo zkušební místnost. Regulace přítoku vody z externí nádrže byla realizovaná termostatem umístěným uvnitř chladicí věže. Byl navrhnut přírůstkový test na ověření krouticího momentu za daných otáček při určitém úhlu otevření škrticí klapky. Tento test se několikrát opakoval pro hodnoty úhlů otevření škrticí klapky od 40° do 90°.



Obr. 31 Spalovací motor uchycený na motorové brzdě.

2.2. Motorová brzda Superflow

Pro ověření upravené škrticí klapky byla použita motorová brzda Superflow 902 s absorbérem typu 833 s maximálními hodnotami brzdného krouticího momentu 1536 Nm a maximálním brzdícím výkonem 1125 kW, viz Obr. 1. Jedná se o zařízení, které dokáže přesně určit a také zaznamenat do grafu výkon spalovacího motoru. Tímto způsobem se dá zjistit maximální výkon motoru, protože proces ladění je oproštěn od negativních vlivů jako například váha jezdce, povětrnostní podmínky, nebo i subjektivní pocity při jízdě.

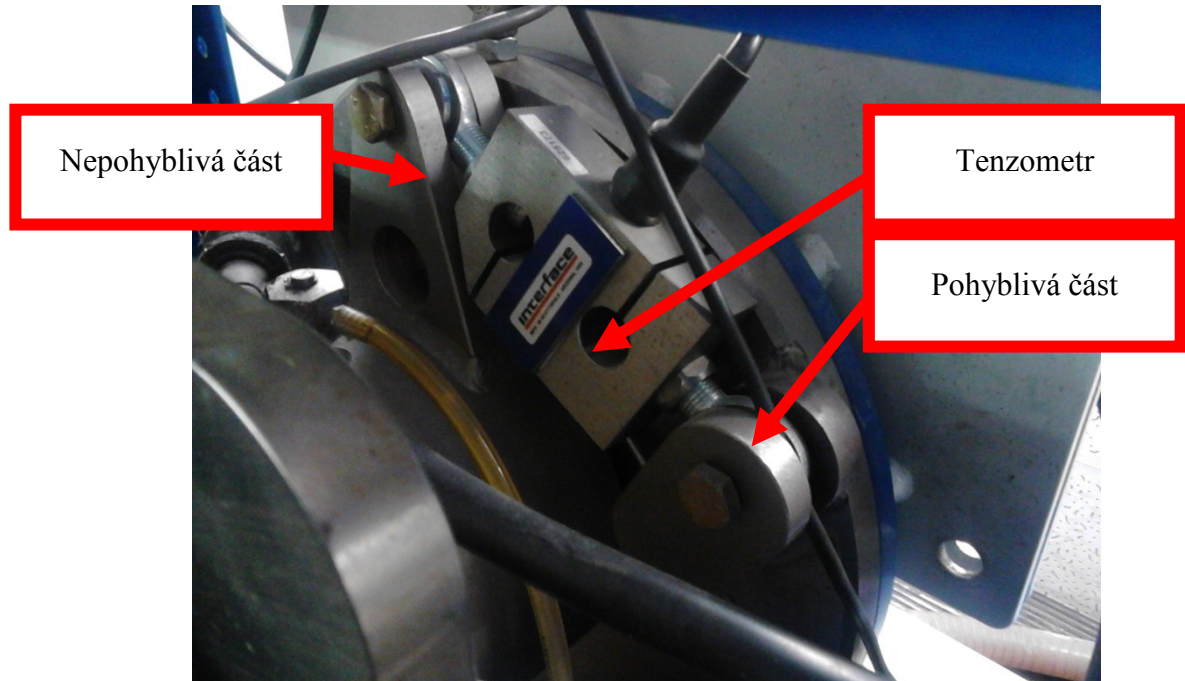
Krouticí moment je měřen tenzometrem umístěným na absorbéru motorové brzdy. Tenzometr je elektronická součástka pro převod napětí popřípadě mechanické deformace na elektrické signály, které jsou zpracovávány dalšími akčními členy. Popis Nejčastějším testem měřeným na motorové brzdě je přírůstkový test z hlediska jeho nejvyšší přesnosti, popis testu, viz 2.4 Testování funkčnosti klapky.



Obr. 32 Motorová brzda superflow 902 absorber 833.

2.2.1. Kalibrace tenzometru motorové brzdy:

V případě motorové brzdy je tenzometr využíván pro měření krouticího momentu. Nachází se na absorbéru, je spojen pohyblivou a pevnou částí, viz **Obr. 33**.

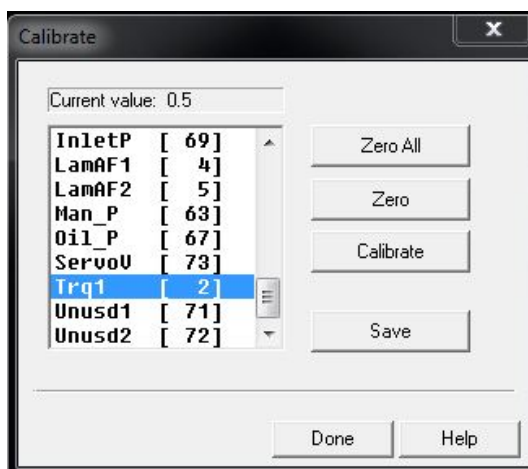


Obr. 33 Tenzometr umístěný na absorbéru motorové brzdy.

Po každé změně motoru nebo dlouhodobému používání motorové brzdy je třeba tenzometr kalibrovat. Postup kalibrace:

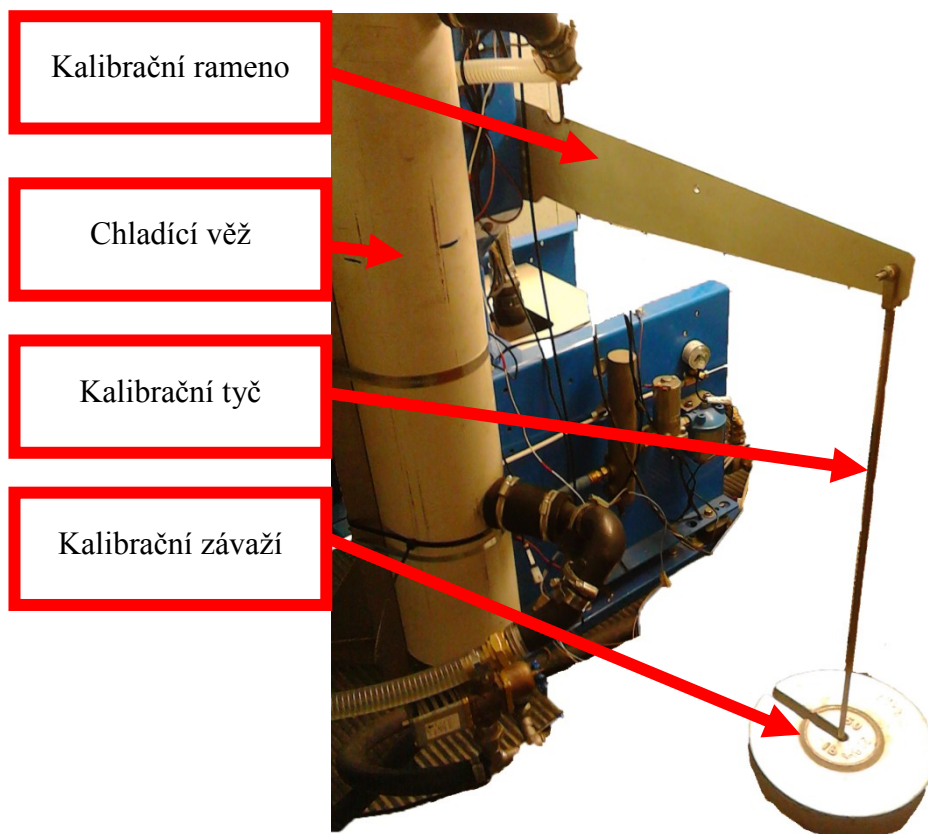
- spuštění aplikace WinDyn v hlavní nabídce vybrat „Test group“ v nově otevřeném okně vybrat z nabídky „Trq1“ **Obr. 34**.
- Instalovat kalibrační rameno kromě závaží, po stisknutí „zero“ vynulovat hodnotu krouticího momentu.
- Následně přidat závaží a vypočítat požadovaný krouticí moment, který lze vypočítat z tíhové síly.
- Potvrdit stisknutím „calibrate“. Sundat závaží s ramenem a znovu vynulovat pomocí „zero all“ a následně „save“ a „done“, tím je kalibrace dokončena.

Na **Obr. 34** lze vidět okno menu, pro kalibraci různých digitálních a analogových vstupů z čidel.



Obr. 34 Volba kalibrace

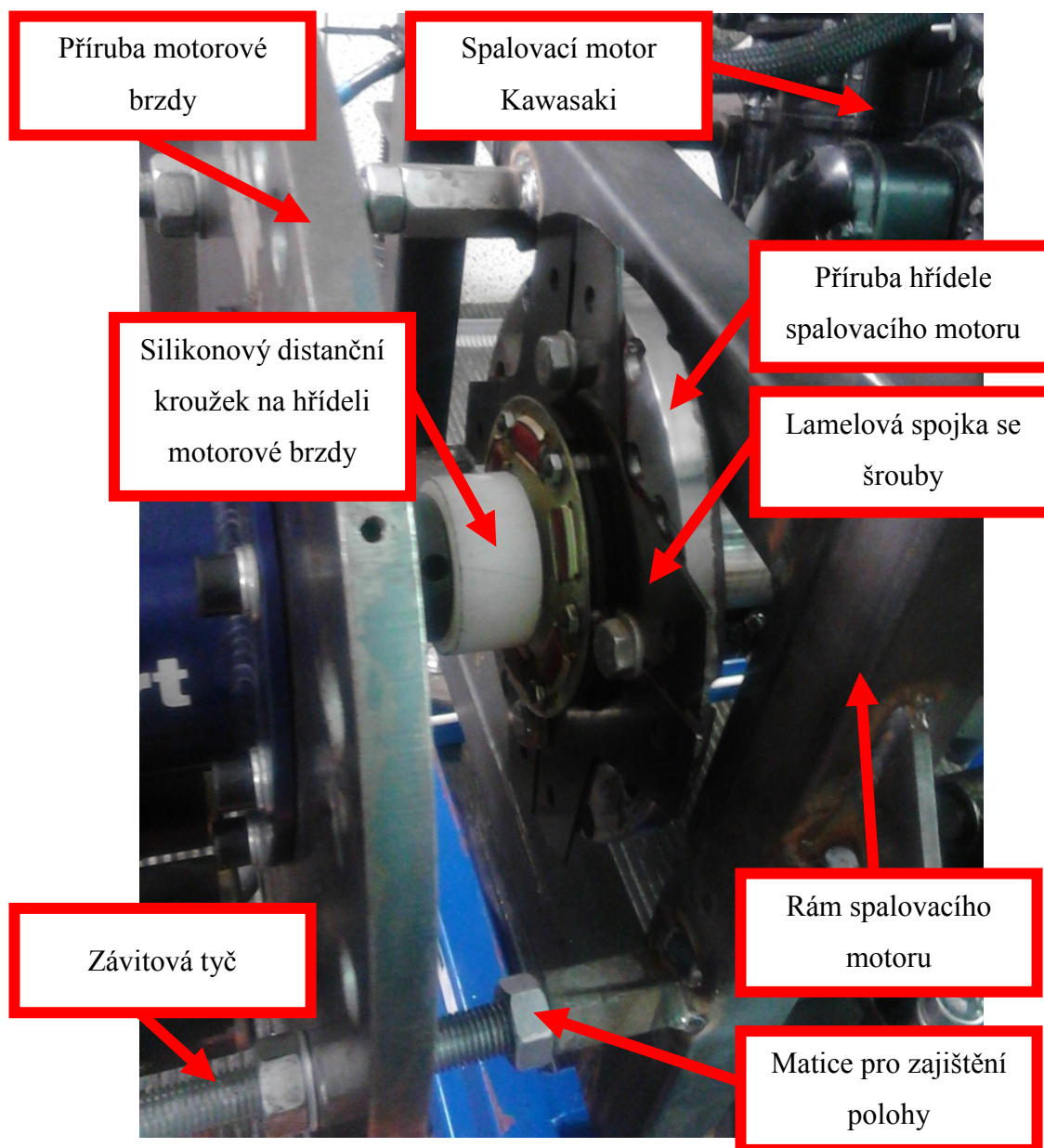
Na **Obr. 35** mimo kalibrační rameno s kalibrační tyčí a závažím je vidět i část chladicí věže, která zajišťuje chlazení motoru.



Obr. 35 Kalibrační rameno připevněné na motorové brzdě.

2.3. Upnutí motoru s rámem k motorové brzdě

Uchycení rámu motoru k přírubě motorové brzdy bylo realizováno závitovými tyčemi, ČSN EN ISO 4032 M20 s maticemi sloužícími pro zajištění polohy (vzdálenosti). Na hřídel spalovacího motoru Kawasaki byla nasazena příruba spolu s lamelovou spojkou přišroubovanou čtyřmi šrouby o velikosti ČSN EN 24018 M12. Celá tato sestava byla nasunuta na hřídel motorové brzdy, viz **Obr. 36**.

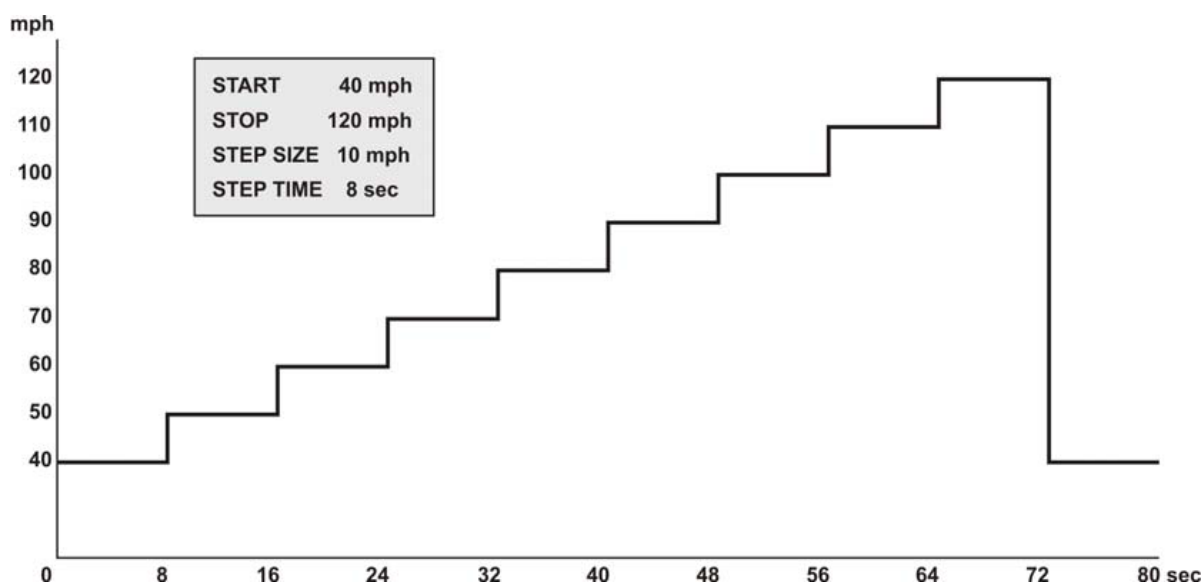


Obr. 36 Upnutý spalovací motor k motorové brzdě.

2.4. Testování funkčnosti klapky

Ve výše zmíněné kapitole 2. Ověření funkčnosti škrticí klapky na motorové brzdě, bylo ověření funkčnosti podrobena přírůstkovým testem, který je definovaný koncovým bodem, přírůstkovou velikostí, a dobou kroku.

Test začíná ve startovním bodu a stabilizuje se po zadanou dobu kroku, pak postoupí o velikost kroku k další zadané hodnotě, otáčky se zvýší a v nově nastavené hodnotě se stabilizují. Tato sekvence může být vzestupná (běžná pro benzinové motory) či sestupná (běžná pro motory dieselové). Sestupné testy méně zatěžují motor. Data jsou zaznamenána po dostatečné stabilizaci hodnot (po 3–7 sekundách pro benzinové motory a 10–15 sekundách pro těžké vznětové motory. Grafický příklad přírůstkového testu je znázorněn na **Obr. 37**.



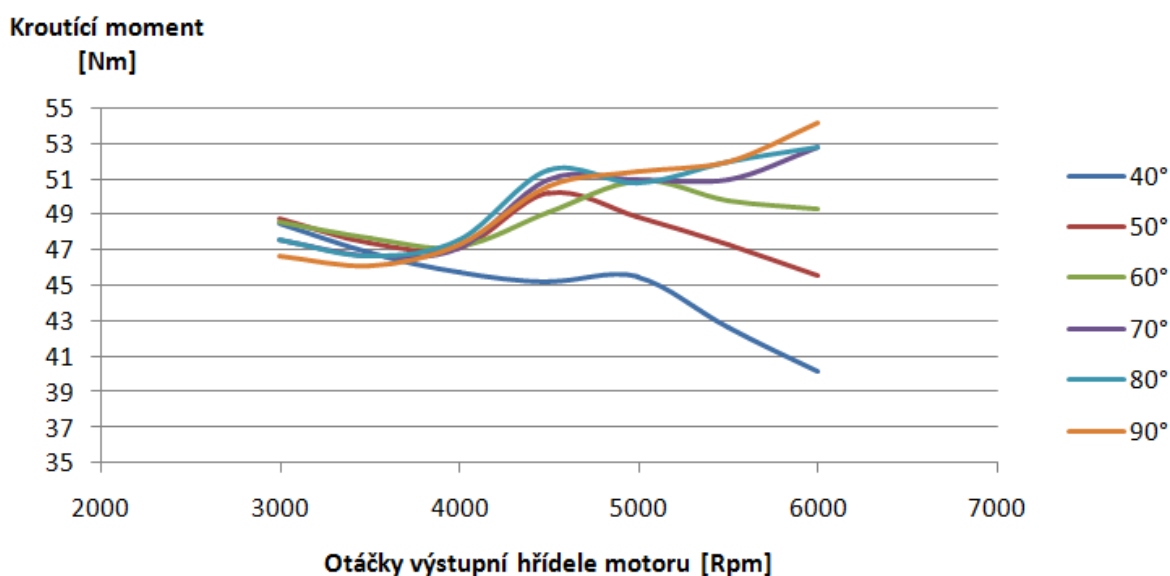
Obr. 37 Grafické znázornění přírůstkového testu.

Požadavkem na tyto testy bylo prověření funkčnosti upravené elektronicky řízené škrticí klapky. Testy byly monitorovány na ovládacím panelu motorové brzdy Superflow a rovněž na počítači v programu WinDyn zobrazující data testu v reálném čase, viz **Obr. 38**.



Obr. 38 Ovládací panel motorové brzdy Superflow (vlevo), Data v reálném čase v programu WinDyn (vpravo).

Provedlo se šest nezávislých testů pro jednotlivé úhly otevření škrticí klapky. Všechna naměřená data byla zpracována programem WinDyn a uložena do počítače. Z těchto dat byl následně vykreslen graf závislosti krouticího momentu na otáčkách motoru pro daný úhel otevření škrticí klapky, viz **Obr. 39**. Z grafu níže lze vyčíst, že pro úhly 40° a 50° je krouticí moment z počátku rostoucího charakteru, ale následně klesá. To znamená, že krouticí moment okolo 50 Nm je pro tyto stupně otevření klapky příliš velký.

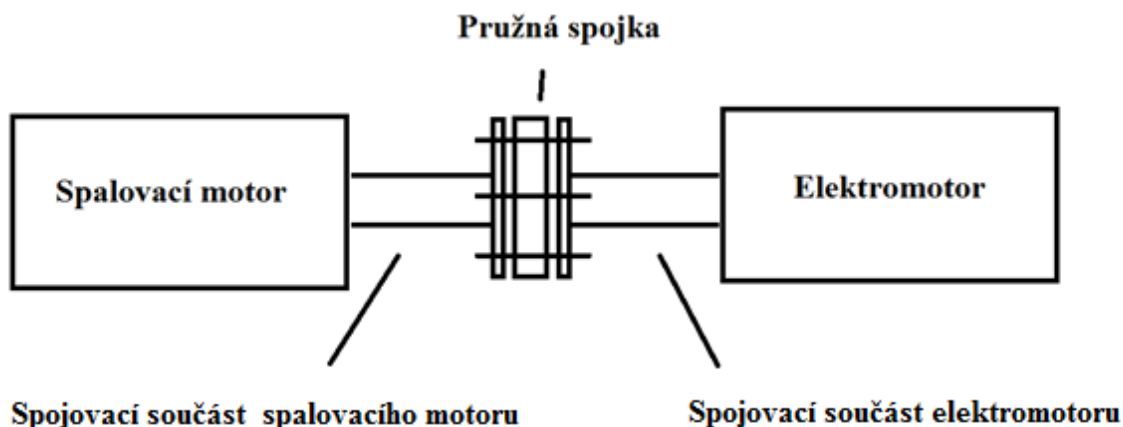


Obr. 39 Závislost krouticího momentu a otáček výstupní hřídele motoru na úhlu otevření škrticí klapky.

3. Kompletace motoru Kawasaki 650 s generátorem

Cílem této části bylo zkompletovat Spalovací motor Kawasaki a Elektromotor Schwartz v jeden celek (generátor). Jako nejlepším konstrukčním řešením se jeví spojení motorů „do série“ (za sebe) kdy jednotlivé hřídele byly spojeny přes pružnou spojku (Hardyho spojka), která je schopná spolu s přírubami přenášet krouticí moment z hřídele spalovacího motoru na hřídel elektromotoru, schematicky na **Obr. 40**. Obě příruby byly zkonstruovány dle rozměrů pružné spojky v programu Solidworks podle technického výkresu umístěného v příloze a následně zkonstruovány. Příruby byly vyrobeny z oceli pomocí obrábění na CNC stroji LITZ-LU800.

Kryt elektromotoru byl rozměřen a následně připevněn k přírubě pomocí šesti šroubů ČSN EN ISO 4762 M6x25. Kryt byl spolu s přírubou umístěn pomocí elektromechanického zvedáku na požadované místo a spojen čtyřmi šrouby ČSN EN ISO 4762 M12x30s úchyty přivařenými k rámu spalovacího motoru.



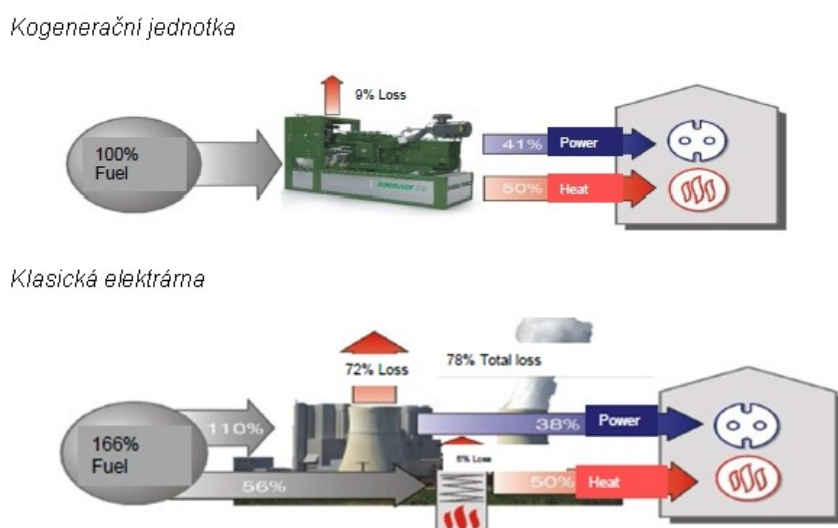
Obr. 40 Schematické spojení motorů.

3.1. Kogenerační jednotky

Spojením spalovacího motoru a elektromotoru vznikne generátor principově podobný kogenerační jednotce.

Kogenerační jednotka je zařízení, které dodává elektrickou energii a zároveň i teplo. Palivem pro tyto jednotky je obvykle zemní plyn, ale nabízí se možnost spalovat i jiné druhy paliva jako kapalné nebo tuhé palivo.[1]

Kogenerační jednotky mají vysokou účinnost, a proto šetří fosilní paliva. Jednou z největších předností kogenerační jednotky je jeho procentuální využití přebytečného tepla, což vede k výrazným úsporám paliva. Například tepelná elektrárna má okolo 72% nevyužitého tepla, zatímco kogenerační jednotky dosahují ztrátových hodnot do 10%. Schematicky na **Obr. 41**. [1]



Obr. 41 Rozdíl tepelné účinnosti tepelné elektrárny a kogenerační jednotky, převzato z[1].

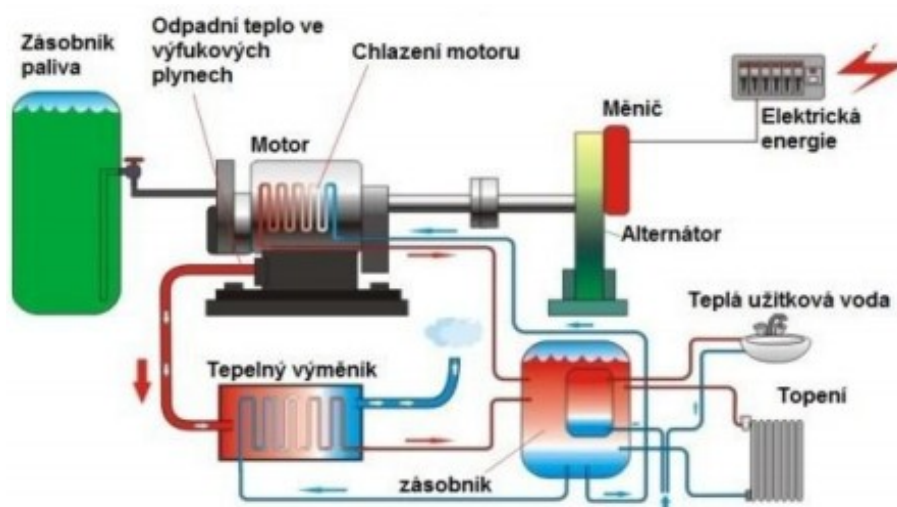
Fuel = palivo

Power = elektrická energie

Heat = tepelná energie

(Total) loss = (celková) ztráta

Na **Obr. 42** je vidět schematické vyobrazení kogenerační jednotky se všemi jednotlivými částmi, od zásobníku paliva až po konečnou tepelnou a elektrickou energii.



Obr. 42 Schéma kogenerační jednotky, převzato z [2].

Zařízení se skládá ze 4 hlavních částí: zásobníku paliva, spalovací jednotky, generátoru, zařízení pro rekuperaci tepla.

Zásobník paliva slouží pro uložení dostatečného množství paliva pro spalovací jednotku. Ta má za úkol přeměnit palivo na kinetickou energii a teplo. Kinetickou energii dále zpracovává elektrický generátor, který ji přemění na elektrickou energii. Takto vyrobenou elektrickou energii transformuje měnič na fázové napětí např. 230V/50Hz, v této podobě se dá přímo využít nebo prodávat do elektrické sítě.

Zbytkové teplo je absorbováno do tekutého média a toto je dále rozváděno řídicími systémy a slouží například k vytápění budov.[2]

Typy konstrukce kogeneračních jednotek se mohou lišit ve spalovací jednotce. Standardně se používají 3 typy:

- s vnějším spalováním paliva (parní a spalovací turbíny, mikroturbíny, ORC moduly)
- s vnitřním spalováním paliva (spalovací motory)
- s přímou transformací (palivové články - zatím ve fázi vývoje)

Generátor

Nejčastěji se jedná o rotační respektive točivé stroje, které využívají točivého magnetického pole a cívek, ve kterých se indukuje elektrické napětí. Tyto stroje se používají jako generátory nejvíce, jelikož mohou být dimenzované na velmi velké výkony a navíc jejich účinnost je dobrá. Skládají se z rotoru a statoru, kdy obvykle rotor vytváří točivé magnetické pole a ve statoru jsou umístěny cívky, ve kterých se indukuje elektrické napětí

Spalovací motor

Spalovací agregát mění palivo na tepelnou a mechanickou energii pomocí spalování hořlavého paliva a to buďto kapalného nebo plynného. Pístový motor na zemní plyn, který roztáčí připojený generátor. Teplo, které motor produkuje je prostřednictvím chladicího média předáváno do výměníku a dále využíváno, stejně tak je využíváno i teplo spalin motoru.

Tepelný systém (výměník tepla)

Je tvořen primárním a sekundárním okruhem. Primární okruh je vnitřní uzavřený tlakový okruh, který v případě kogenerační jednotky osazené spalovacím motorem odebírá teplo z vnějšího pláště motoru a předává ho do sekundárního okruhu. Sekundárním okruhem je zajištěno vyvedení tepelného výkonu (získaného chlazením spalovacího motoru a spalin) z kogenerační jednotky ke spotřebiči.

Rozvaděč a řídicí systém

Řídicí systém ovládající kogenerační jednotku je spolu s rozvaděčem hlavní částí regulace systému. Kogenerační jednotka je vybavena akumulátorem, který slouží pro ukládání vyprodukovaného tepla a pro jeho využití. V době zvýšeného odběru se využívají naakumulované zásoby tepelné energie. Použití akumulátoru umožňuje prodloužení provozní doby kogenerační jednotky a tím zvýšení efektivity provozu.[3]

3.2. Spalovací motor pro kogenerační jednotku (Kawasaki Versys 650)

Spalovací agregát použitý pro tuto aplikaci je dvouválcový, čtyřtaktní motor o objemu 650 cm³ z motorky Kawasaki Versys 650. Tento motor využívá oběh, který vychází z Ottova cyklu. Podrobný popis Ottova cyklu se nachází níže v kapitole 3.3.1. Ottův cyklus.

Technické specifikace motoru:

Typ	Čtyřtaktní, DOHC, 2válc
Chladicí systém	Kapalinové chlazení
Vrtání a zdvih	83 × 60 mm
Zdvihový objem	649 cm ³
Kompresní poměr	10,6 : 1
Maximální výkon	47,0 kW (64 PS) @8 000 ot/min,
Maximální krouticí moment	(61 Nm) @6 800 ot/min,
Vstřikovací systém	Dvoubodové nepřímé vstřikování
Startovací systém	Elektrický startér
Zapalovací systém	Baterie a cívka
Časování	Elektronicky řízené (Digitální zapalovač v ECU)

Převodovka:

Typ	manuál
Převod	2,095

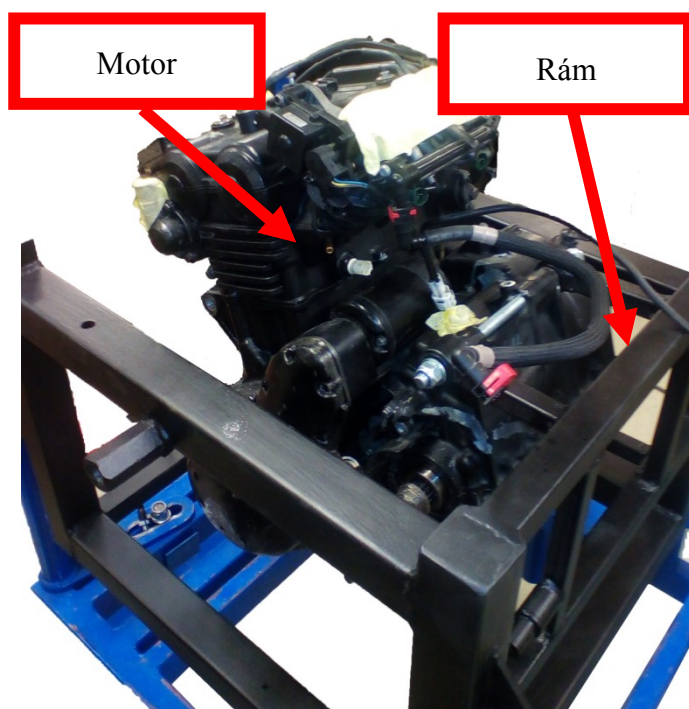
Převodové poměry na jednotlivých rychlostech:

1. Stupeň 2,438
2. Stupeň 1,714
3. Stupeň 1,333
4. Stupeň 1,111
5. Stupeň 0,966
6. Stupeň 0,852

Motor byl demontován z rámu motorčky a odstrojen od elektroniky a následně očištěn. Takto je spolu s integrovanou převodovkou znázorněn na **Obr. 43**.



Obr. 43 Odstrojený motor Kawasaki Versys 650.



Obr. 44 Ustavený spalovací motor v rámu.

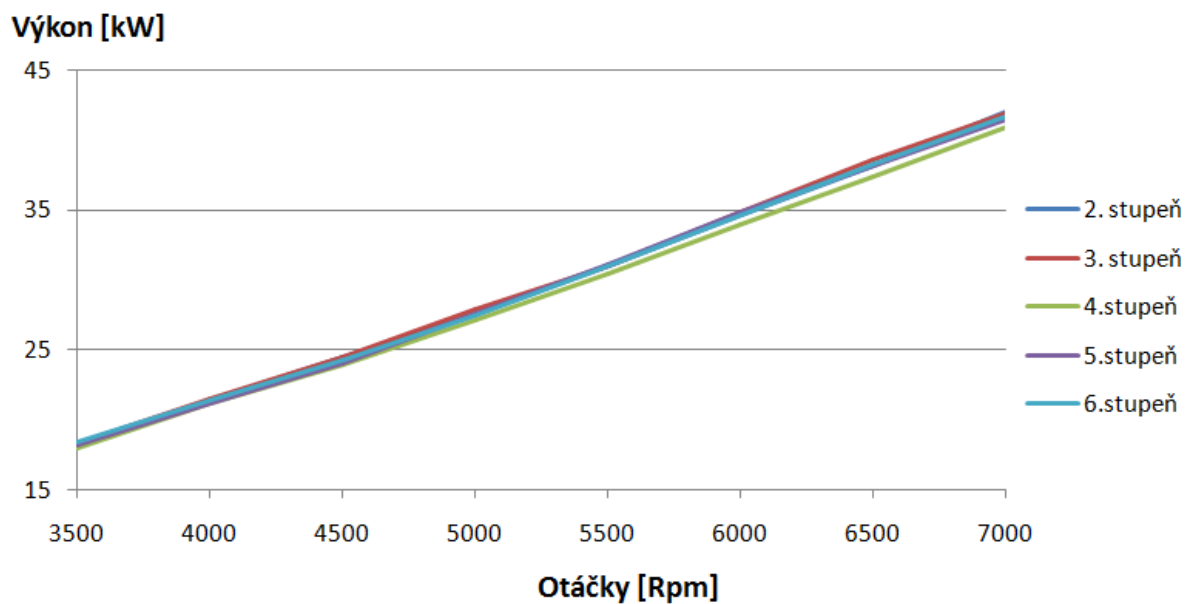
Motor, zbavený veškerého elektronického zařízení byl vložen do zkonstruovaného rámu, viz **Obr. 44** připraveného pro měření na motorové brzdě. Následovalo opětovné připojení elektroniky a komponentů pro provoz motoru připojeného k motorové brzdě a změření výkonových parametrů motoru.

3.2.1. Výkonnostní parametry spalovacího motoru Kawasaki

Hodnoty parametrů, jako krouticí moment, otáčky motoru a výkon, jsou uvedeny níže, viz **Tabulka 2** pro jednotlivé převodové stupně. Naměřené hodnoty jsou zobrazeny v grafech, pro výkon motoru **Obr. 45** a pro krouticí moment **Obr. 46**.

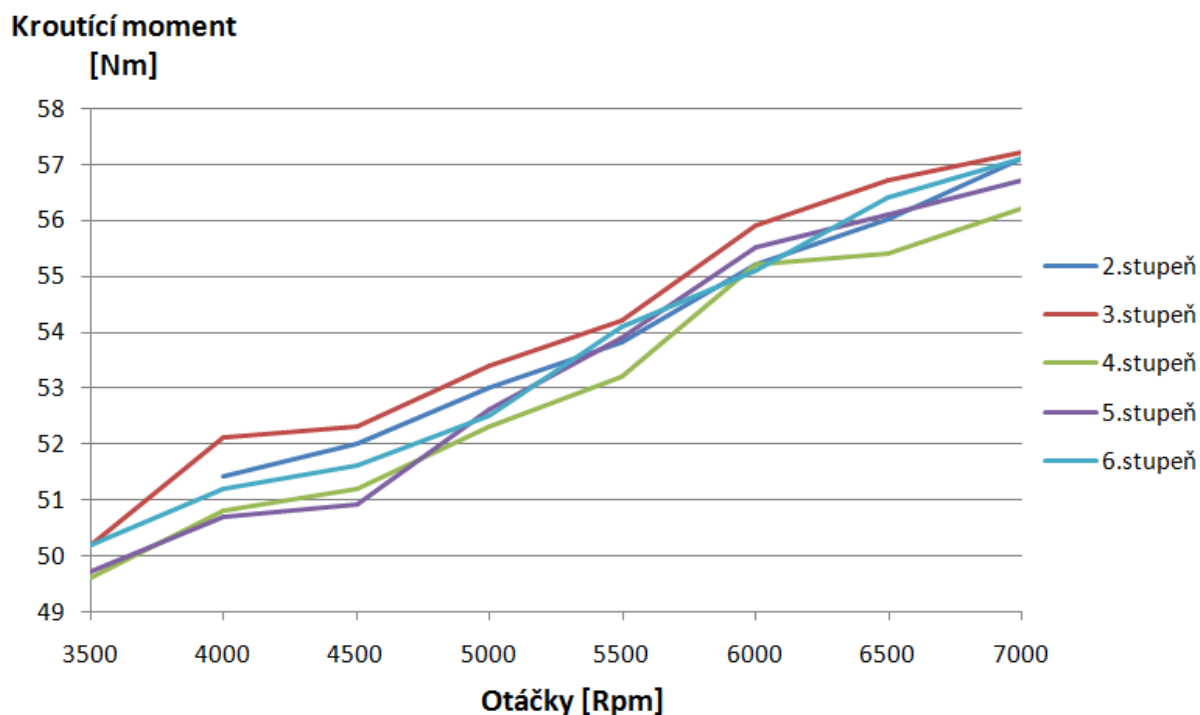
Tabulka 2 Hodnoty výkonových parametrů pro jednotlivé stupně.

2. Stupeň								
Otáčky [Ot/m]	-	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000
Krouticí moment [Nm]	-	51,4	52	53	53,8	55,2	56	57,1
Výkon [kW]	-	21,4	24,5	27,6	31	34,6	38,1	42
3. Stupeň								
Otáčky [Ot/m]	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000
Krouticí moment [Nm]	50,2	52,1	52,3	53,4	54,2	55,9	56,7	57,2
Výkon [kW]	18,3	21,5	24,5	27,9	31	34,8	38,6	41,9
4. Stupeň								
Otáčky [Ot/m]	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000
Krouticí moment [Nm]	49,6	50,8	51,2	52,3	53,2	55,2	55,4	56,2
Výkon [kW]	18	21,2	23,9	27,1	30,4	34	37,4	40,9
5. Stupeň								
Otáčky [Ot/m]	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000
Krouticí moment [Nm]	49,7	50,7	50,9	52,6	53,9	55,5	56,1	56,7
Výkon [kW]	18,2	21,3	24	27,6	31,1	34,8	38,1	41,4
6. Stupeň								
Otáčky [Ot/m]	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000
Krouticí moment [Nm]	50,2	51,2	51,6	52,5	54,1	55,1	56,4	57,1
Výkon [kW]	18,4	21,4	24,3	27,5	31	34,6	38,2	41,7



Obr. 45 Závislost výkonu jednotlivých převodových stupňů na výstupních otáčkách.

Z Obr. 45 je patrné, že difference mezi jednotlivými křivkami výkonu rychlostních převodů jsou velmi malé. Na Obr. 46 jsou rovněž patrné malé rozdíly krouticích momentů u jednotlivých stupňů, v tomto případě jde o ztráty vůlemi a třením v převodovce.



Obr. 46 Závislost krouticího momentu na jednotlivých převodových stupních na výstupních otáčkách.

3.3. Cykly využívané u spalovacích motorů pro kogenerační jednotky

Spalovací motory s Ottovým cyklem mají sice vyšší termickou účinnost, ale v případě kogenerace, kdy není potřeba nejvyššího výkonu. Z důvodu pouze částečného zatížení a zkrácené kompresní fáze se využívají motory s Aktinsonovým nebo Millerovým cyklem.[8]

3.3.1. Ottův cyklus

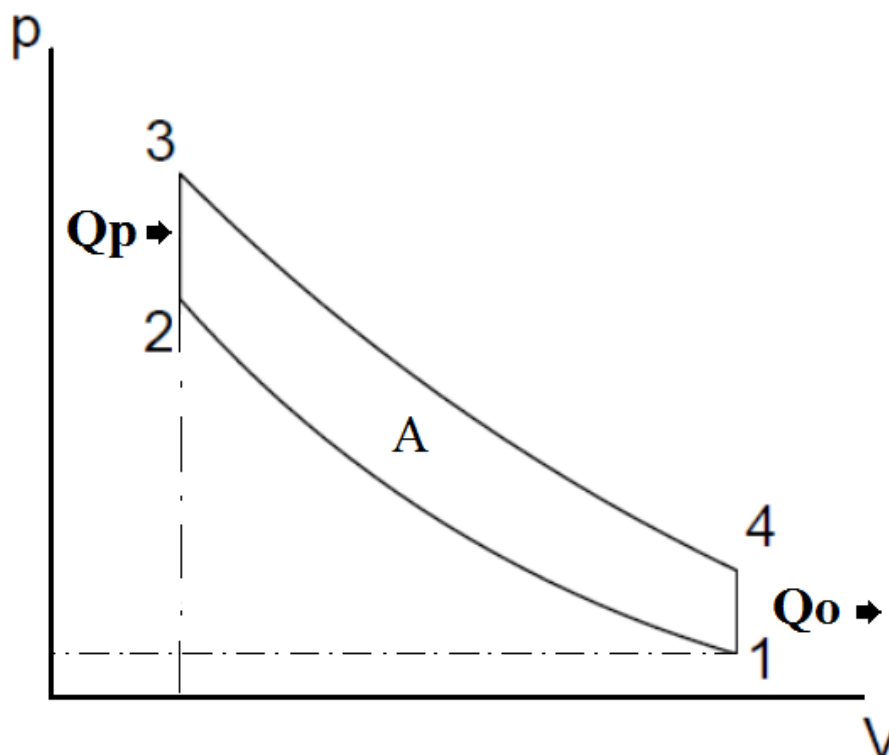
Ottův cyklus je idealizovaný oběh tepelného stroje, který se skládá z vratných dějů. Díky rychlému přívodu a odvodu tepla se tento cyklus využívá v zážehových motorech. Průběh Ottova cyklu můžeme vidět na **Obr. 47**, kde je patrný přívod tepla Q_p a odvod tepla Q_o . Všechny vratné děje jsou shrnuty do 4 fází:

body 1 až 2 - adiabatická komprese

body 2 až 3 - izochorický přívod tepla

body 3 až 4 - adiabatická expanze

body 4 až 1 - izochorický odvod tepla



Obr. 47 Ottův cyklus v pV diagramu.[8]

Práce Ottova cyklu[8]

Vykonaná práce tepelného stroje s Ottovým cyklem se rovná obsahu plochy vytvořené ze všech vratných dějů vyobrazených v pV diagramu, viz **Obr. 47**. Práci **A** lze vypočítat sečtením všech figurujících tepel v cyklu.

$$A = Q_{12} + Q_{23} + Q_{34} + Q_{41} \quad [J] \quad (7)$$

kde Q_{12} je teplo přivedené během adiabatické komprese což znamená, že $Q_{12}=0$. Q_{23} je teplo přivedené během izochorické komprese. Q_{34} je teplo odvedené během adiabatické expanze což znamená, že $Q_{34}=0$. Q_{41} je teplo odvedené během izochorické expanze.

Účinnost Ottova cyklu[8]

$$\eta_{Otto} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{K-1}} \quad [-] \quad (8)$$

kde ε je kompresní poměr a K je Poissonova konstanta.

Vyjádření cyklu v chodu čtyřdobého zážehového motoru

Sací fáze píst je v horní úvratí a přesouvá se do dolní úvratí, přičemž jsou otevřeny sací ventily. Tím dochází k nasátí vzduchu do spalovacího prostoru. Výfukový ventil je zcela uzavřen.

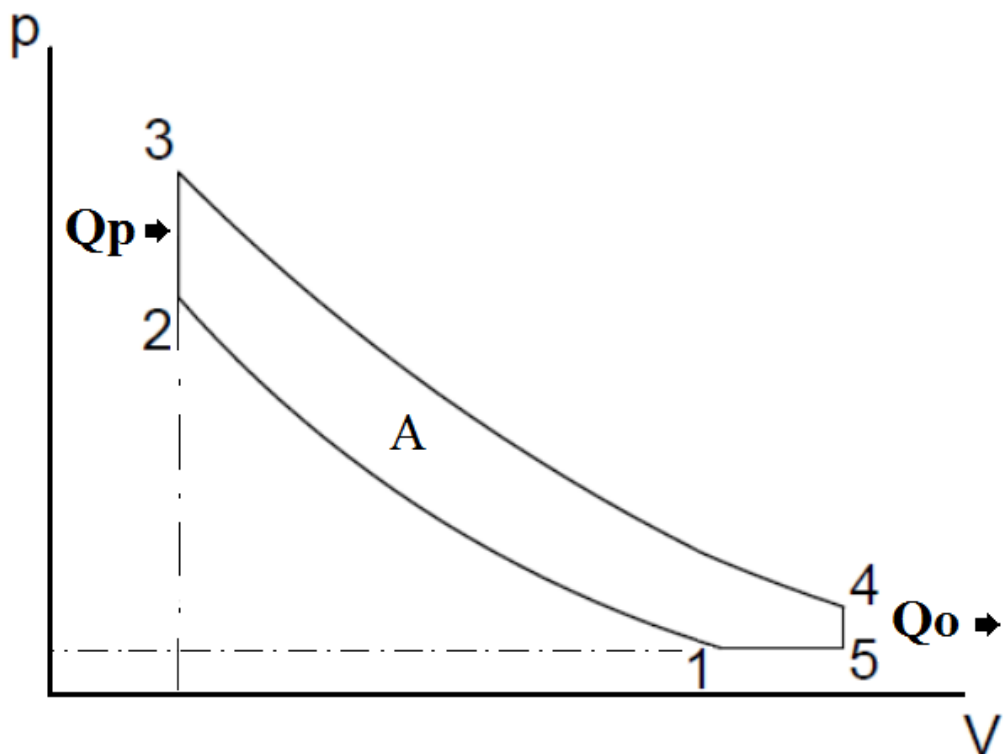
Kompresní fáze píst se pohybuje z dolní úvratě do horní, přičemž jsou zavřeny všechny ventily. Nastává komprese nasáté směsi do doby zažehnutí směsi jiskrou ze svíčky.

Expanzní fáze po zapálení směsi, směs exploduje, probíhá expanze spálené směsi a píst je tlačěn do dolní úvratě.

Výfuková fáze píst se pohybuje do horní úvratě, přičemž jsou otevřeny výfukové ventily a zplodiny unikají do výfukové soustavy. Při následném pohybu pístu dolů se znova opakuje sací fáze.

3.3.2. Atkinsonův cyklus

Atkinsonův cyklus je téměř totožný jako Ottův cyklus s tím rozdílem, že je zde prodloužena expanze zakončená izochorickým a izobarickým odvodem tepla. Atkinsonův cyklus oproti Ottovu cyklu je rozdílný ve specifickém výkonu. Ottův cyklus má specifický výkon vyšší, ale při částečné zátěži se jeví jako méně účinnější nežli Atkinsonův cyklus. Při kompresi směsi je sací ventil pootevřený a tím se dostává část směsi zpět do sacího traktu, a tím zajišťuje menší spotřebu. Zde vzniká potenciál vyšší účinnosti.[8]



Obr. 48 Průběh Atkinsonova cyklu v pV diagramu.[8]

Na **Obr. 48** je vidět přivedené (Q_p) a odvedené teplo (Q_o) a termická práce. Jednotlivé vratné děje vyobrazené v pV diagramu jsou:

Body 1 až 2: Adiabatická komprese

Body 2 až 3: Izochorický komprese

Body 3 až 4: Adiabatická expanze

Body 4 až 5: Izochorický expanze

Body 5 až 1: Izobarický komprese

Práce Atkinsonova cyklu[8]

$$A_0 = Q_{12} + Q_{23} + Q_{34} + Q_{45} + Q_{51}/J \quad (9)$$

kde Q_{12} je teplo přivedené (Q_p) během adiabatické komprese což znamená, že $Q_{12}=0$. Q_{23} je teplo přivedené během izochorické komprese. Q_{34} je teplo odvedené (Q_o) během adiabatické expanze což znamená, že $Q_{34}=0$. Q_{45} je teplo odvedené během izochorické expanze. Q_{51} je teplo přivedené izobarickou kompresí.

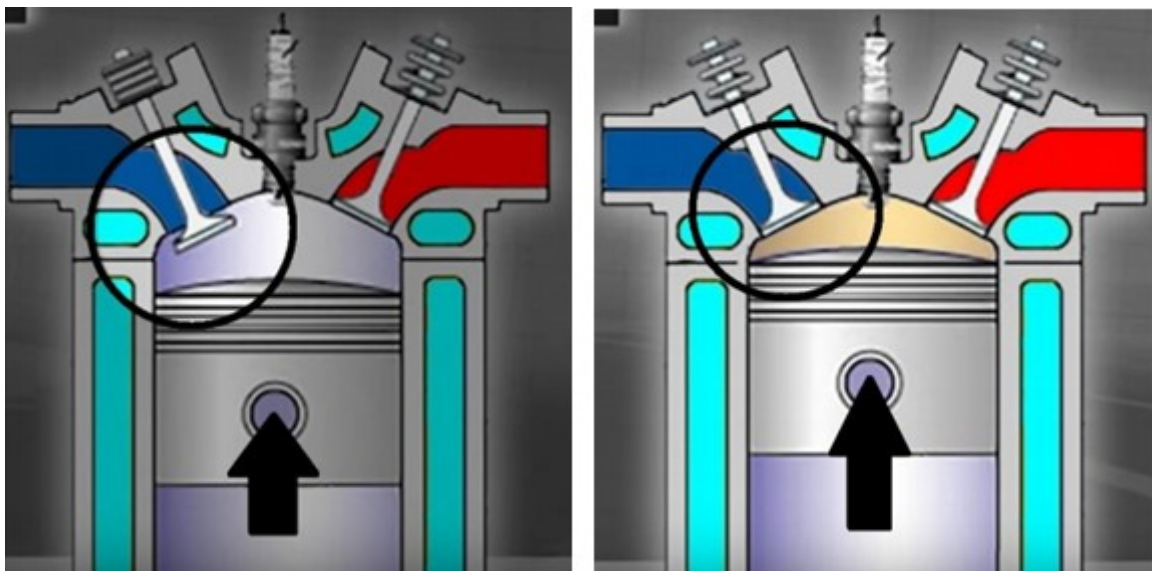
Termická účinnost Atkinsonova cyklu[8]

$$\eta_{Atkinson} = 1 - \frac{\lambda_p \cdot \gamma^{K-1} - 1}{\epsilon^{K-1}} \quad [-] \quad (10)$$

kde λ_p je poměr zvýšení tlaku $\frac{p_2}{p_1}$, ϵ je kompresní poměr, γ je superexpanzní poměr $\frac{\lambda}{\epsilon}$ a K je Poissonova konstanta.

Vyjádření cyklu v chodu čtyřdobého zážehového motoru

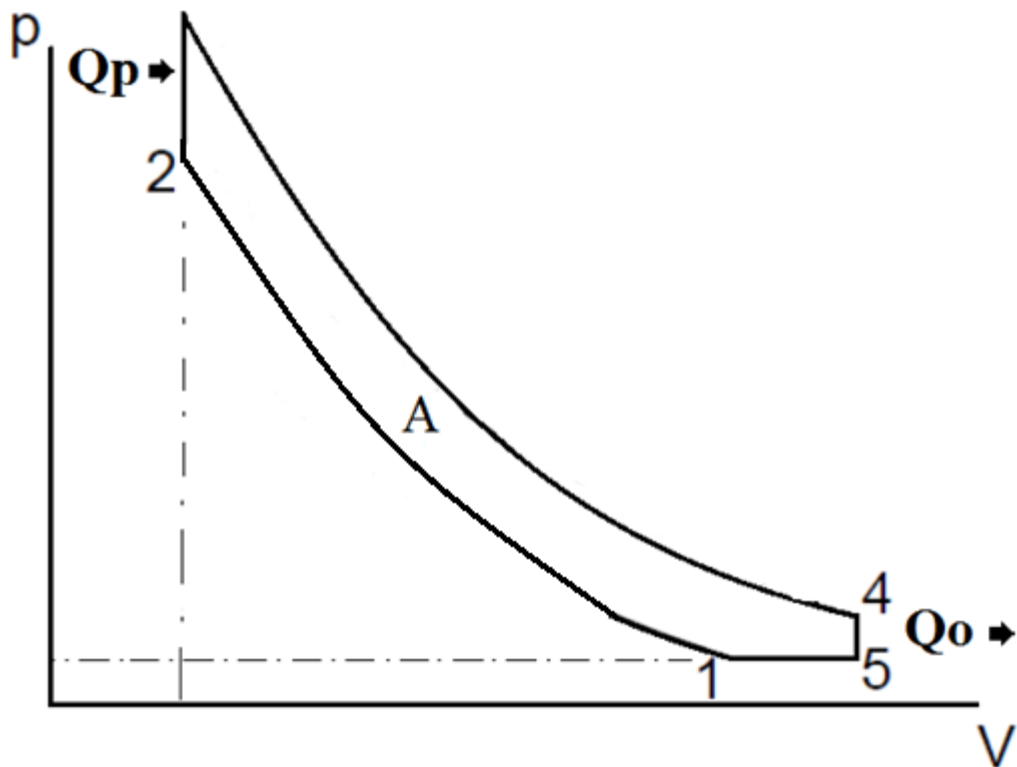
Sací fáze je totožná jako u Ottova cyklu. Kompresní fáze se dělí na dvě části, v první části je pohyb pístu směrem k horní úvrati, ale sací ventil je pootevřený a část nasáté směsi proudí zpět do sání. Ve druhé části se sací ventil zavře a zbytek směsi se stlačí. Expanzní a výfuková fáze je totožná jako u Ottova cyklu.



Obr. 49 Konstrukční provedení kompresní fáze, první část (vlevo), druhá část (vpravo).[8]

3.3.3. Millerův cyklus

Princip Millerova cyklu je velmi podobný principu motoru s Atkinsonovým cyklem. Jediný zásadný rozdíl je v tom, že motory s Millerovým cyklem jsou přeplňované. Stejně jako u Atkinsonova cyklu je sací ventil na čas pootevřený i ve fázi komprese, následkem čeho se kompresní zdvih rozdělí na dvě části. V první, když je sací ventil pootevřen se dané množství směsi vytlačí zpět do sacího potrubí. Až v druhé části, po uzavření ventilu se směs stlačí.[8]



Obr. 50 Průběh Millerova cyklu v pV diagramu.[8]

Na **Obr. 50** je vidět přivedené (Q_p) a odvedené teplo (Q_o) a termickou práci. Jednotlivé vratné děje vyobrazené v pV diagramu jsou:

Body 1 až 2: Adiabatická komprese

Body 2 až 3: Izochorický komprese

Body 3 až 4: Adiabatická expanze

Body 4 až 5: Izochorický expanze

Body 5 až 1: Izobarický komprese

Práce Millerova cyklu[8]

$$A_0 = Q_{12} + Q_{23} + Q_{34} + Q_{45} + Q_{51} \quad [J] \quad (11)$$

kde Q_{12} je teplo přivedené (Q_p) během adiabatické komprese což znamená, že $Q_{12}=0$. Q_{23} je teplo přivedené během izochorické komprese. Q_{34} je teplo odvedené (Q_o) během adiabatické expanze což znamená, že $Q_{34}=0$. Q_{45} je teplo odvedené během izochorické expanze. Q_{51} je teplo přivedené izobarickou kompresí.

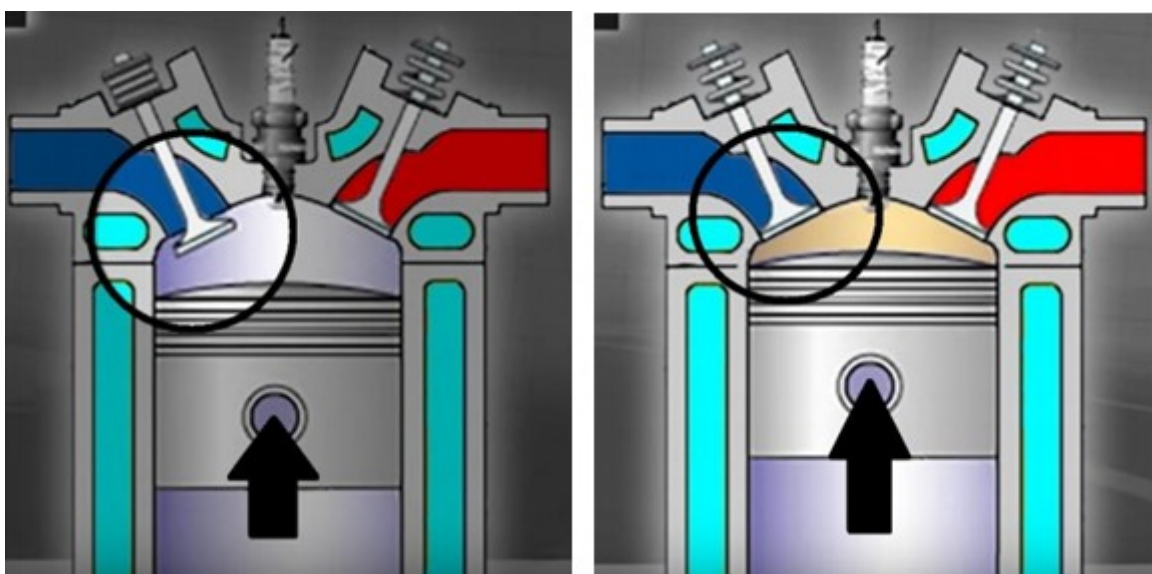
Termická účinnost Millerova cyklu[8]

$$\eta_{Otto} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{K-1}} \frac{(K-1) \cdot \gamma \cdot \lambda_p \cdot \left(\frac{1}{\gamma}\right)^{K-1} - K}{\lambda_p - 1} \quad [-] \quad (12)$$

kde λ_p je poměr zvýšení tlaku $\frac{p_2}{p_1}$, ε je kompresní poměr, γ je superexpanzní poměr $\frac{\lambda}{\varepsilon}$ a K je Poissonova konstanta.

Vyjádření cyklu v chodu čtyřdobého zážehového motoru

Sací fáze je totožná jako u Ottova cyklu. Kompresní fáze se dělí na dvě části, v první části je pohyb pístu směrem k horní úvratí, ale sací ventil je pootevřený a část nasáté směsi proudí zpět do sání. Ve druhé části se sací ventil uzavře a zbytek směsi se stlačí. Expanzní a výfuková fáze je totožná jako u Ottova cyklu.

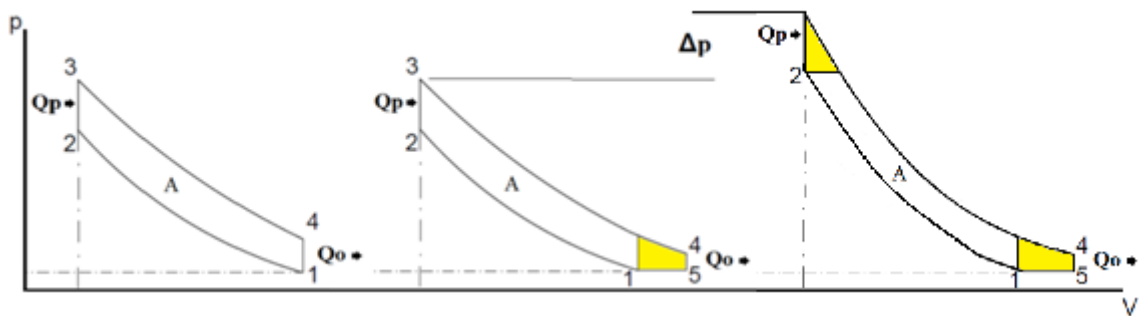


Obr. 51 Konstrukční provedení kompresní fáze, první část (vlevo), druhá část (vpravo). [8]

3.3.4. Porovnání cyklů (Ottův, Atkinsonův a Millerův)

Na **Obr. 52** je znázorněna práce navíc, označená žlutou barvou, kterou využívají Atkinsonův a Millerův cyklus. Tato práce zvyšuje účinnost obou cyklů zapříčiněnou pootevřeným sacím ventilem v 1. (sací) fázi cyklu. V dnešní době se tyto oběhy využívají v hybridních systémech, kde absence specifického výkonu není problém, ale naopak jsou díky jejich vlastnostem úspornější.

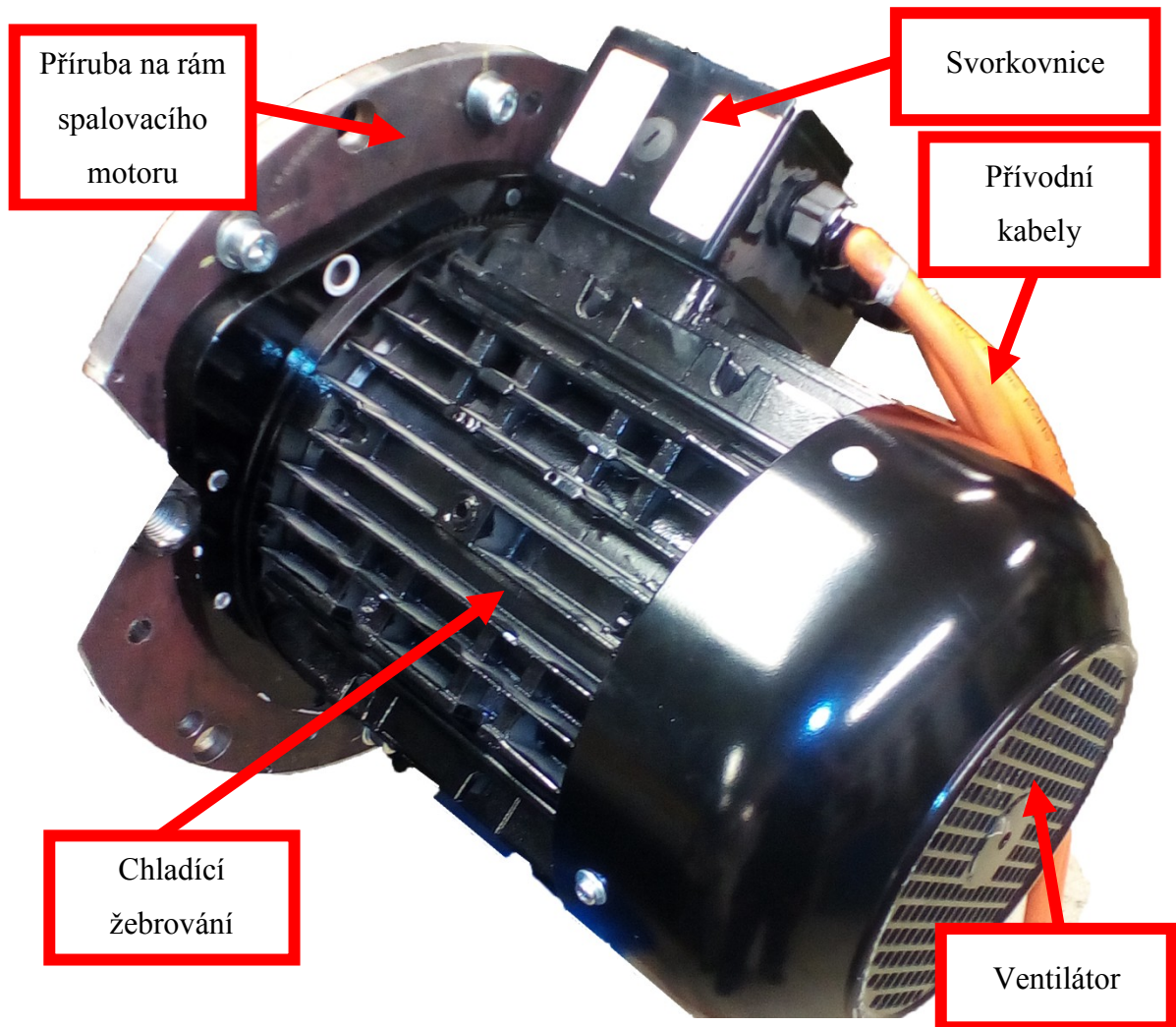
Rozdíl tlaku Δp , mezi Atkinsonovým a Millerovým cyklem je způsoben přeplňováním turbodmychadlem, což vysvětluje jediný rozdíl mezi cykly.



Obr. 52 Porovnání cyklů Ottův (vlevo), Atkinsonův (uprostřed) a Millerův (napravo).

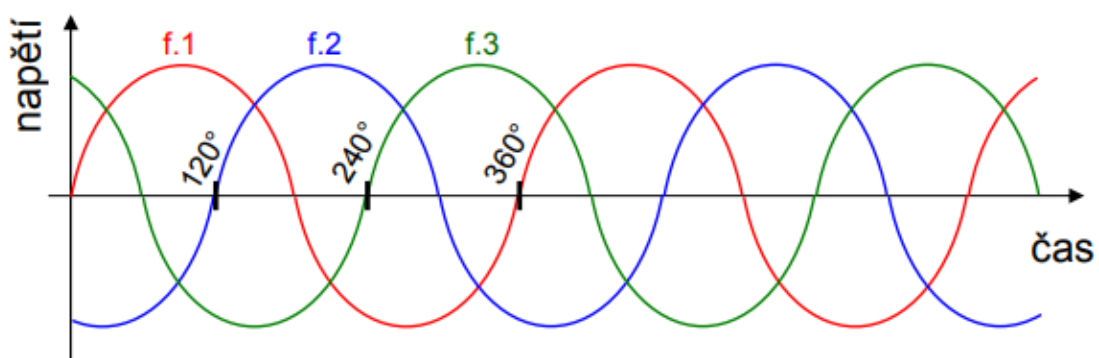
3.4. Elektromotor Schwartz pro kogenerační jednotku

Pro sestavení kogenerační jednotky byl z důvodů jednoduché regulace otáček a jednoduché konstrukce vybrán třífázový asynchronní elektromotor Schwarz AKOE 132 1.2. 100042, viz **Obr. 53**. Tyto motory se obvykle používají pro elektromobily a průmyslové aplikace. Jeho výkony dosahují hodnot několika watt až po megawatty.[4]



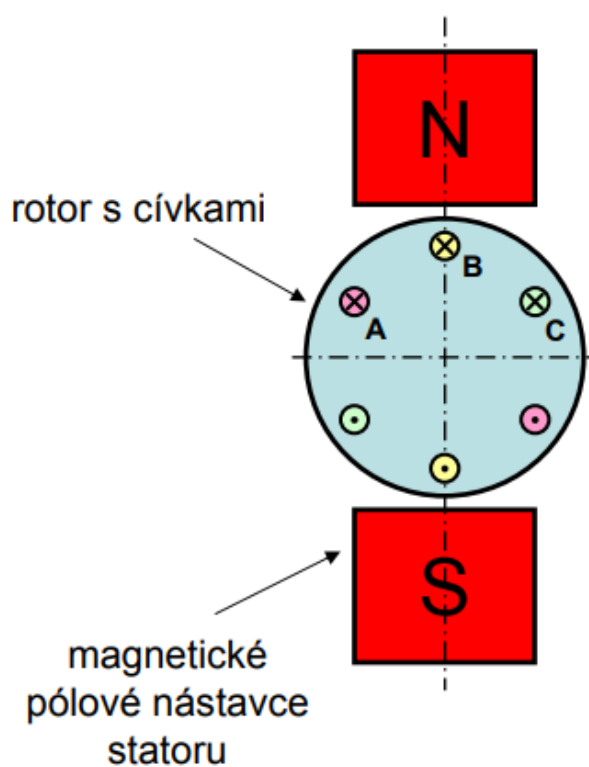
Obr. 53 Tří fázový elektromotor Schwartz.

Motor je napájen z třífázové sítě, jednotlivé sinusoidy jsou od sebe posunuty o 120° , viz **Obr. 54**.



Obr. 54 Průběh třífázového napětí, převzato z [4].

Jednotlivé fáze napájí cívky A, B, C, viz **Obr. 55** a tímto vzniká rotující magnetické pole, které díky magnetickému poli ve statoru umožňuje točivý pohyb.



Obr. 55 Princip rozložení magnetických činitelů v motoru, převzato z [4].

Cívky mohou být umístěny jak ve statoru, tak i v rotoru, jsou-li ve statoru, pak je v rotoru vinutí, které rotací statorového magnetického pole indukuje proud a rovněž generuje magnetické pole. Reakce těchto dvou magnetických polí má za následek vznik točivého pohybu rotoru. Rotor se točí vůči statorovému točivému magnetickému poli zpomaleně a vzniklý skluz je definicí asynchronního motoru.[4]

Možnosti regulace Asynchronního motoru

Asynchronní motor má více možností regulace a to pomocí:

- Změny počtu pólových párů – zastaralé, motor to musí umožňovat.
- Změny napětí – malý rozsah řízení.
- Změny skluzu – například zařazováním odporu do rotorového obvodu.
- Změny frekvence – nejmodernější, řízení frekvenčním měničem, velký rozsah regulace otáček.[4]

Asynchronní motor jako generátor

Možností jak využít potenciál asynchronního motoru jako generátoru je zapojit ho „na krátko“, spojit rotorové vinutí do zkratu. Charakter indukce proudu a vytváření magnetického pole bude opačný, to znamená, že budeme přivádět na výstupní hřídel točivý moment (v případě kogenerační jednotky spalovacím motorem) a na přívodních kabelech se naindukuje třífázový proud, který můžeme pomocí frekvenčního měniče regulovat na požadované hodnoty.

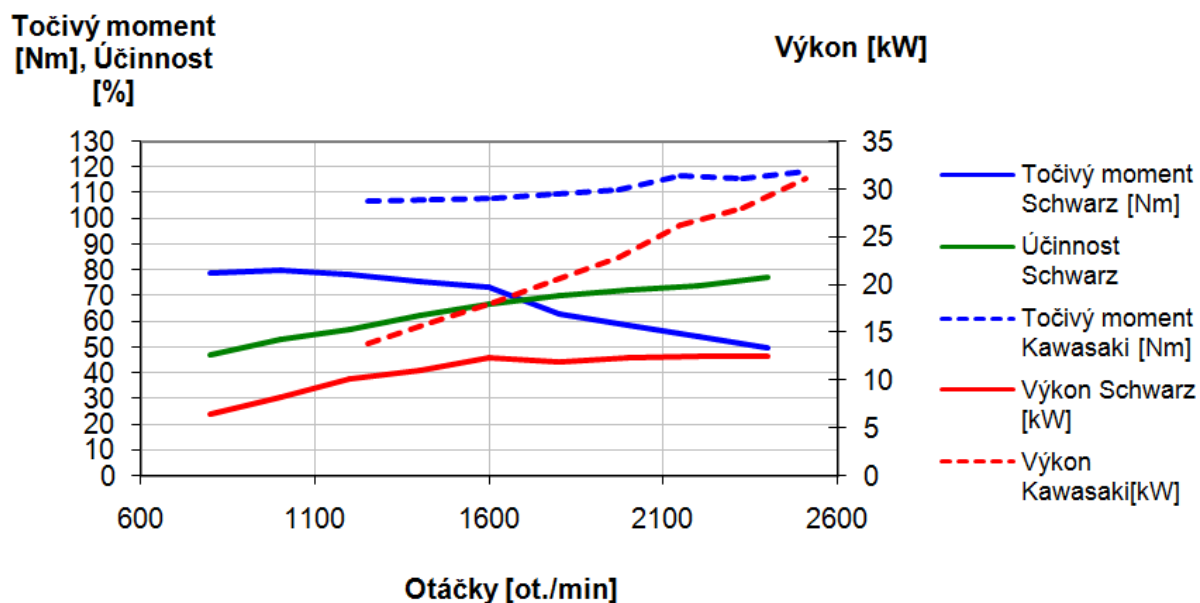
3.4.1. Výkonové parametry elektromotoru Schwartz

Výkon elektromotoru 16 kW při otáčkách 3000 ot/m, napětí 3 x 38 V a proudu 298 A, jsou hodnoty udávané výrobcem. Tyto hodnoty byly zjištěny na štítku motoru, viz **Obr. 56**.

SCHWARZ ELEKTROMOTOREN GmbH		Made in Germany EN 60034		CE	
Type	AKOE 132 1.2.100042	Nr	0020713		
P2	16	kW	Betr art	S2 - 60 min	
U	3 x 38	V	I	298	A
F	105	Hz	cos φ	0,9	
n	3000	min-1	3 ~ Mot	IP 54/ IP 65	
Bauf	B14 sp		W kl.	F	
Ausw	F	KTY 84-130		2 x 64	Imp

Obr. 56 Štítek elektromotoru Schwartz hodnotami parametrů.

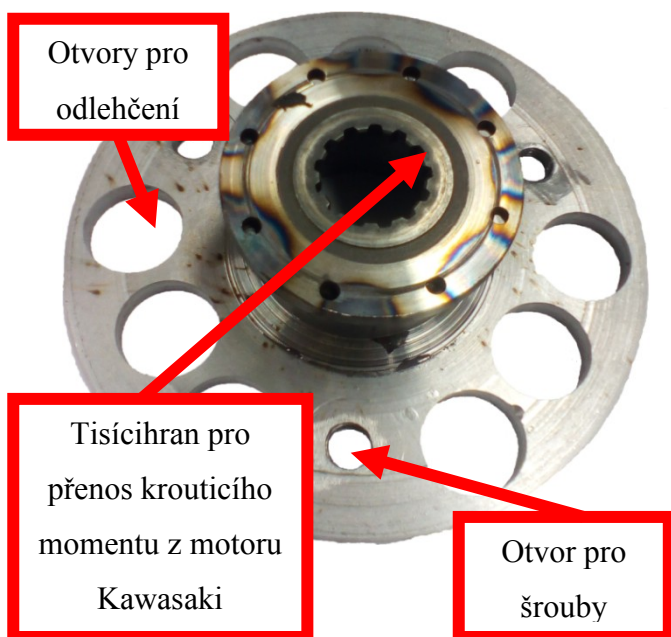
Elektromotor Schwartz, z důvodu získání reálných hodnot, byl připojen na motorovou brzdu a testován na výkon, krouticí moment a dodávaný proud z baterie. Z **Obr. 57** lze vyčíst, že hodnoty krouticího momentu a výkonu jsou jiné, než udává výrobce. Pro následné využití do kogenerační jednotky se uvažovaly tyto reálné hodnoty.



Obr. 57 Výkonová charakteristika Schwarz 100%.

3.5. Realizace kompletace spalovacího motoru s generátorem

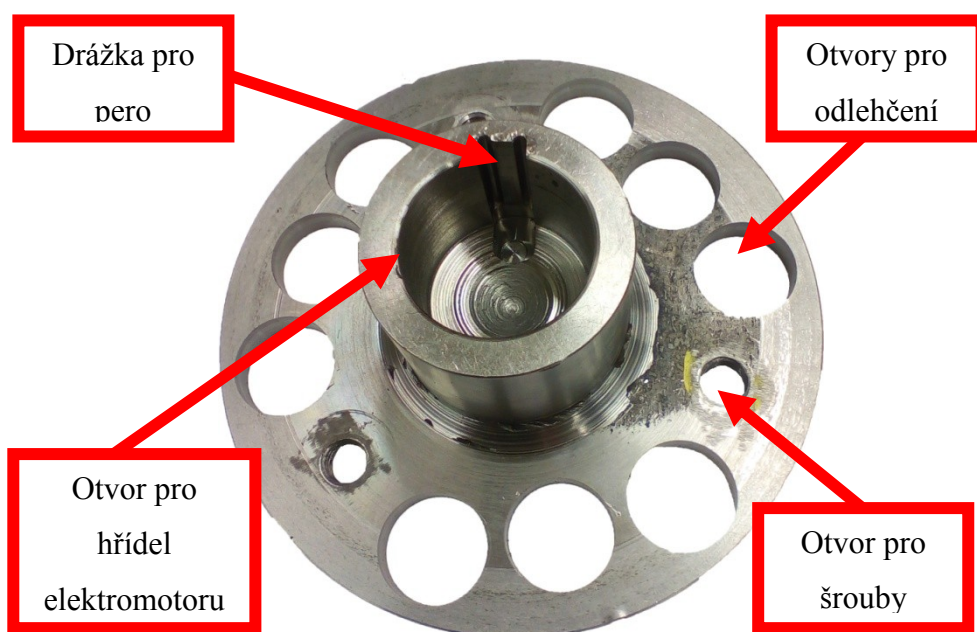
Na **Obr. 58** lze vidět součást pro hřídel spalovacího motoru Kawasaki, která má v přední



části navařený tisícihran pro přenesení krouticího momentu z hřídele spalovacího motoru na spojovací součást - přírubu. Na přírubě jsou tři otvory pro uložení šroubů M10 a dalších devět otvorů sloužící pro odlehčení, protože vyšší hmotnost při roztáčení hřídelí vytvářela zbytečný odpor a vyšší setrvačný moment.

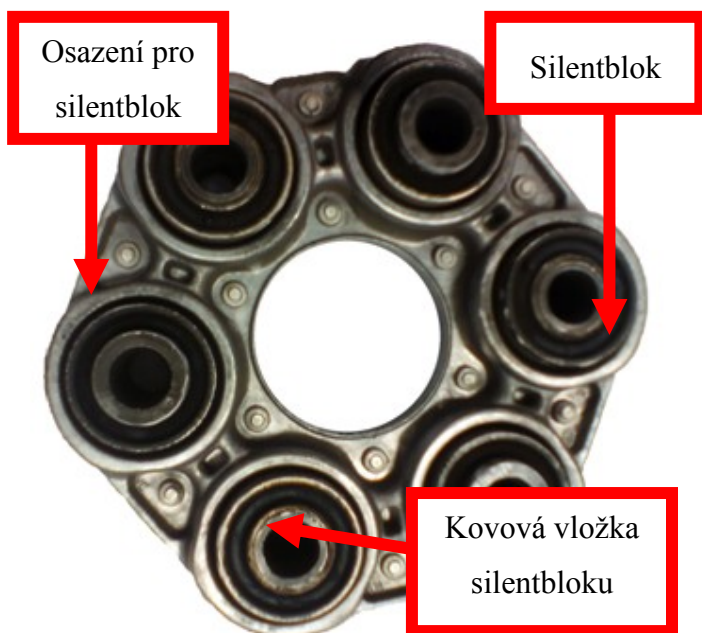
Obr. 58 Vyfrézovaná součást pro hřídel Spalovacího motoru.

Na **Obr. 59** je možno vidět vyfrézovaný mezikus pro elektromotor Schwartz rovněž s otvory pro uložení šroubů (M10) a zbylé otvory pro odlehčení. S tím rozdílem, že zde je pro přenos krouticího momentu použito péro. Technický výkres tohoto dílu lze nalézt v příloze.



Obr. 59 Vyfrézovaná spojovací součást pro elektromotor.

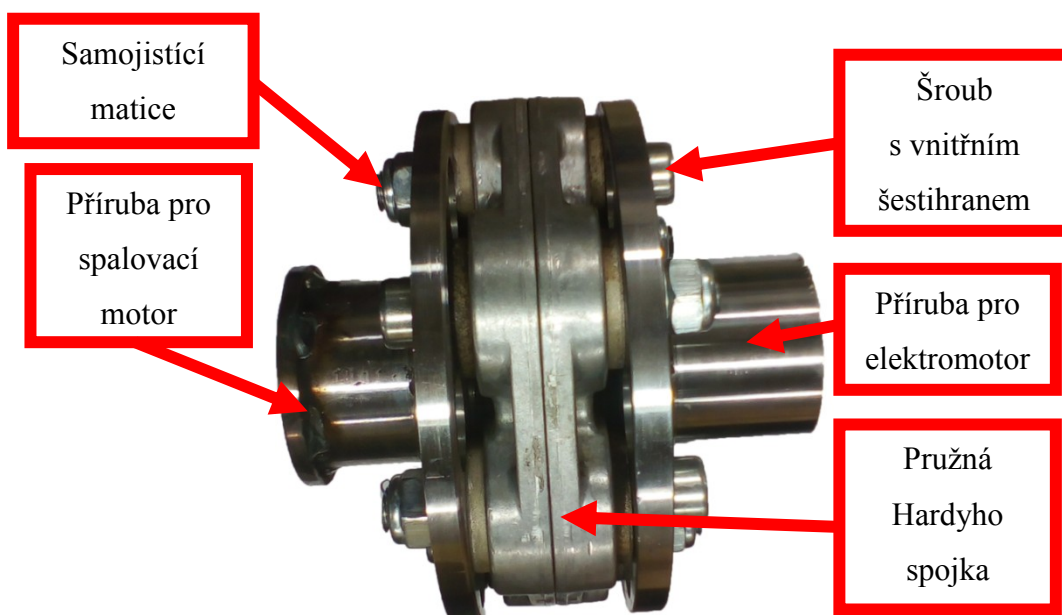
Mezi vyfrézované části se vložila pružná Hardyho spojka, používané firmou BWM v převodovém systému, pro zmírnění vibrací, viz **Obr. 60**. Na tomto obrázku lze vidět



hliníkový odlitek kruhového tvaru s osazením pro silentbloky. Pro ochranu a přesné uložení šroubů jsou v silentblocích kovové vložky zabráňující poškození pryže závitem šroubu.

Obr. 60 Pružná Hardyho spojka firmy BMW.

Tyto díly se spojily pomocí šroubů ČSN EN ISO 4762 (vnitřní šestihran) a matic M10 a tím se vytvořila kompletní součást pro propojení obou hřídelí, viz **Obr. 61**. Tato sestava je důkladně popsána v příloze. Zkompletovaná sestava byla nainstalována na obě hřídele do prostoru mezi spalovací motor a elektromotor. Tímto způsobem byl zajištěn přenos krouticího momentu mezi oběma motory.

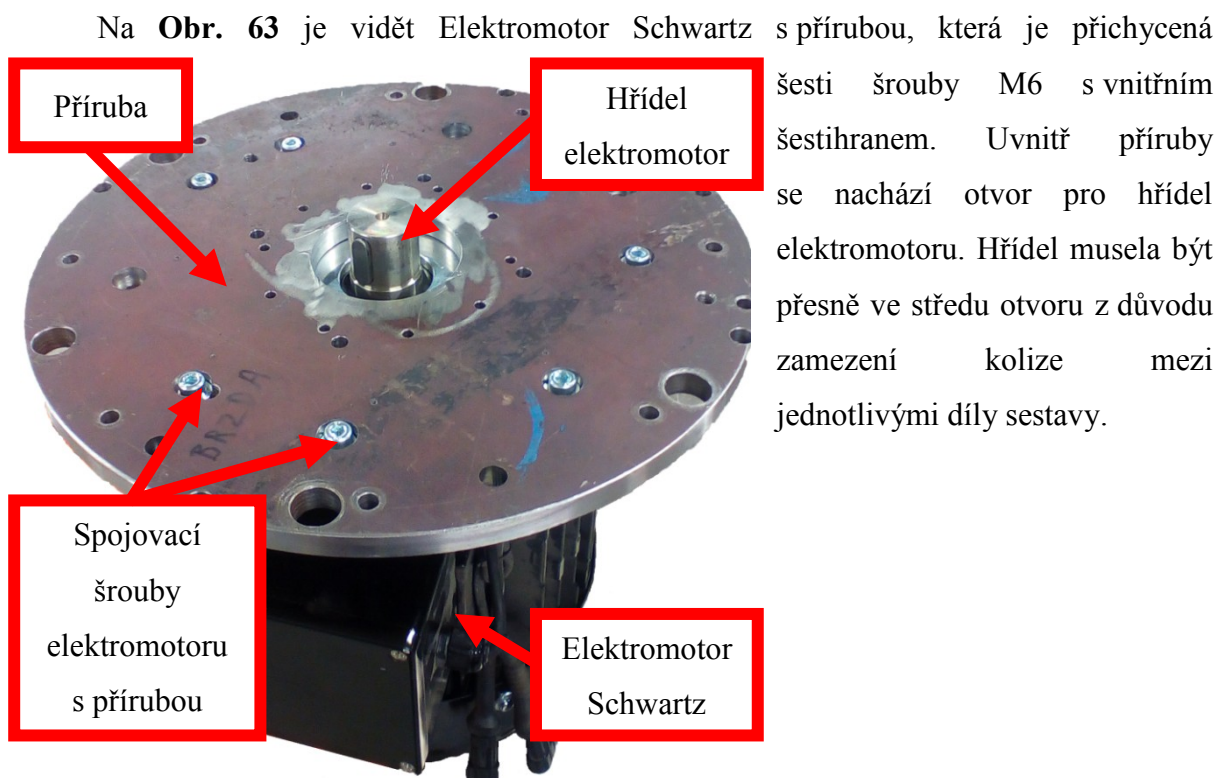


Obr. 61 Kompletní sestava spojení hřídelí.

Pro chod generátoru se elektromotor Schwartz upevnil na rám spalovacího motoru Kawasaki. Elektromotor musel být upevněn tak aby bylo možné souosé spojení výstupních hřídelí. Na **Obr. 62** lze vidět rám spalovacího motoru a podpůrný vozík pro snadnější manipulaci a lepší instalaci na motorovou brzdu. Po kompletaci s elektromotorem se váha celého generátoru pohybuje kolem 100kg.

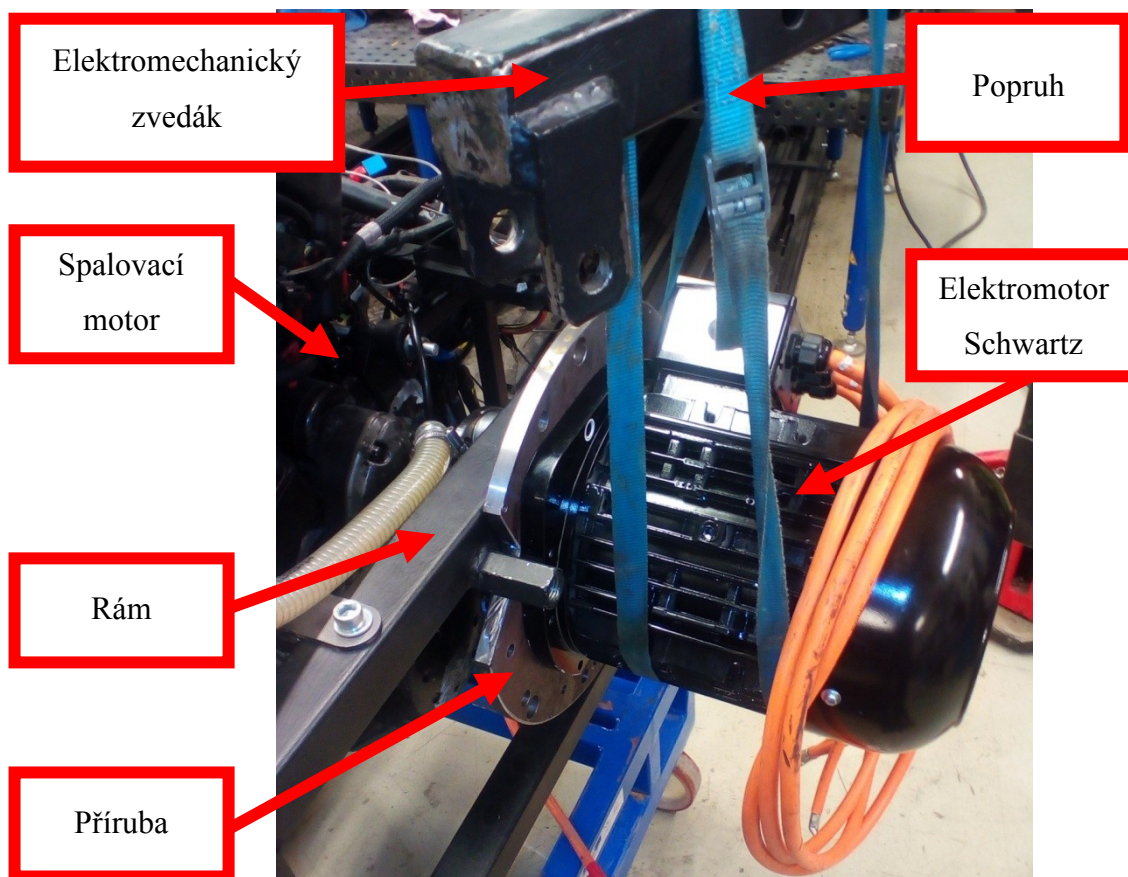


Obr. 62 Rám pro spalovací motor Kawasaki.



Obr. 63 Příruba přišroubovaná k elektromotoru.

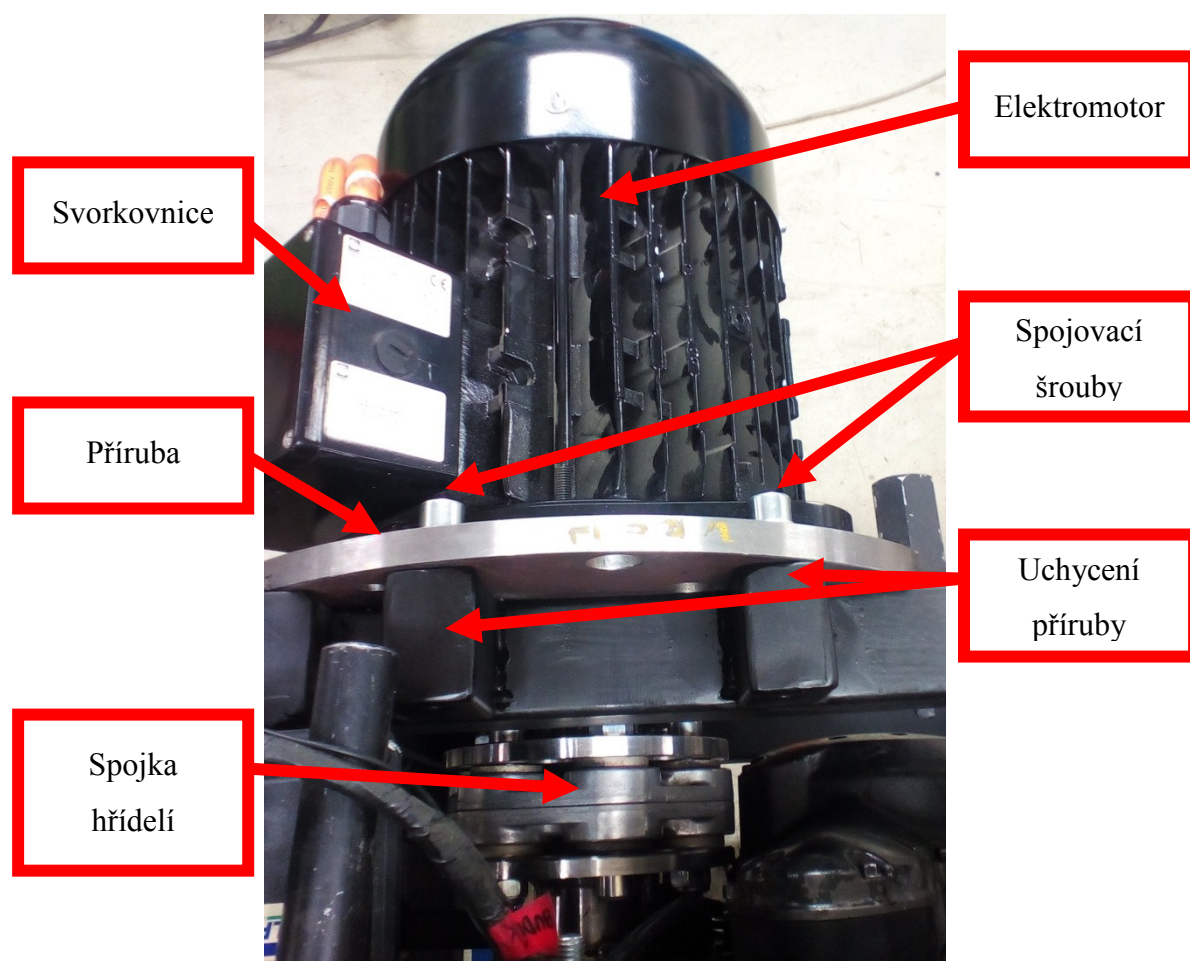
Motor byl na rám umístěn a vycentrován, aby bylo dosaženo co nejpřesnější vzájemné polohy mezi jednotlivými hřídelemi. Manipulace byla zajištěna pomocí elektromechanického zvedáku a popruhů, viz **Obr. 64**. Níže na obrázku je vidět příruba, přes kterou se motor připevnil k rámu. Tato se musela obrobit z důvodu zajištění přesné polohy dosedacích ploch příruby vůči rámu motoru a upevňovacím úchytům, viz **Obr. 65**.



Obr. 64 Umístění elektromotoru na rám.

Elektromotor byl i s přírubou přišroubován k navařeným úchytům na rámu spalovacího motoru. Šroubové spoje jsou realizovány čtyřmi šrouby ČSN EN ISO 4762 M12x45, dva na horní části a dva na dolní části. Úchyty byly vyrobeny z ocelového profilu a přivařeny technologií MAG.

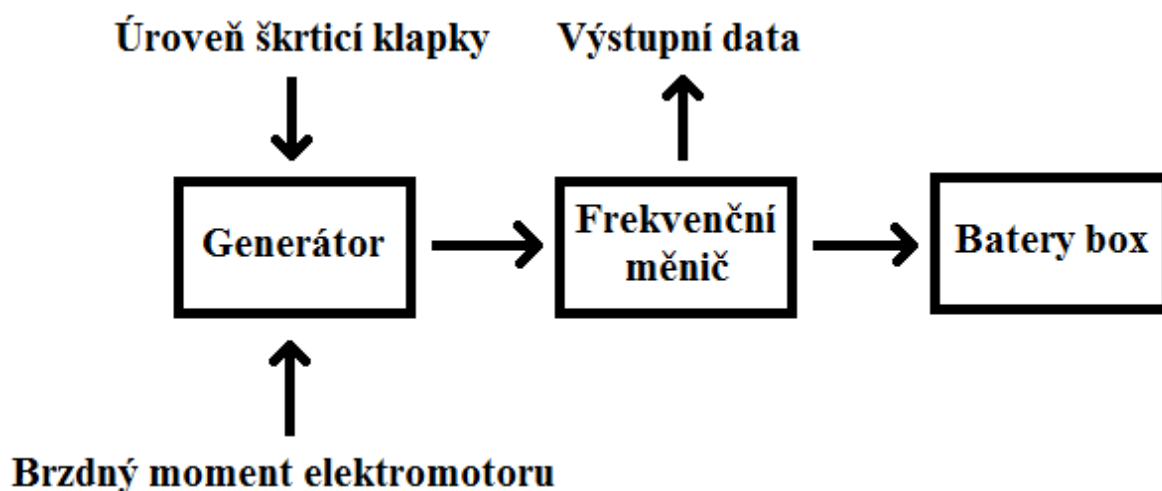
Před přišroubováním příruby byla na hřídele obou motorů nasazena spojka pro přenos krouticího momentu ze spalovacího motoru na elektromotor. Kompletní zařízení se sestává z přírub pro elektromotor, spalovací motor a Hardyho spojky, viz **Obr. 65**.



Obr. 65 Elektromotor upevněný na rám spalovacího motoru.

4. Ověření funkčnosti, shrnutí dosažených poznatků

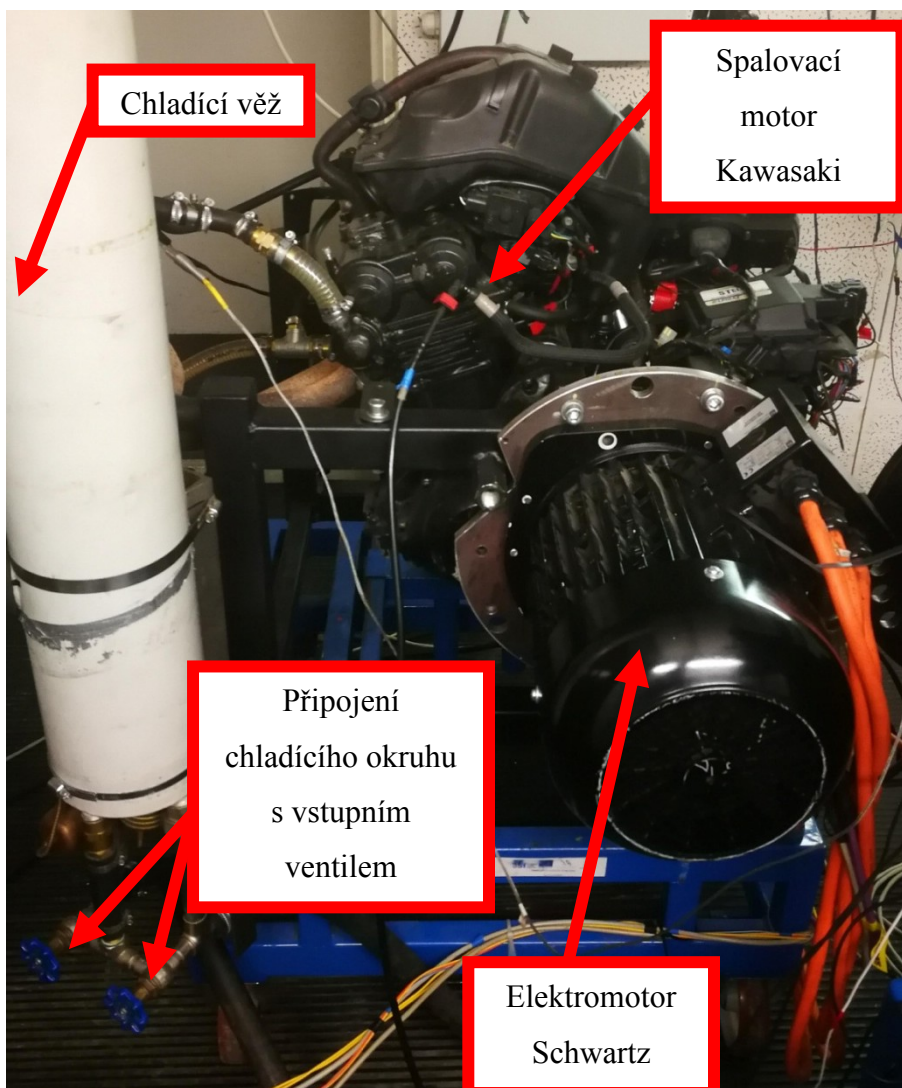
Pro ověření výstupních parametrů generátoru se využila stejně tak jako pro ověření funkčnosti upravené škrtkicí klapky zkušební místnost pro spalovací motory. V místnosti se nachází připojení pro přívod vody s externí nádrže a systém odvětrávání zajišťován výkonným ventilátorem. Hlavní zařízení v místnosti je motorová brzda sloužící k odměřování výkonnosti parametrů spalovacích motorů i elektromotorů. Složený generátor byl připojen k řídicí a výkonové elektronice a akumulátoru. Řízení testování bylo realizováno počítačem a potenciometrem, který sloužil pro regulaci brzdného odporu elektromotoru. Elektrický výkon elektromotoru se měnil ve frekvenčním měnič na požadované hodnoty. Blokové schéma řízení generátoru při testování, viz **Obr. 66**. Cílem bylo naměřit vstupní a výstupní parametry generátoru pro možné další využití.



Obr. 66 Blokové schéma řízení generátoru.

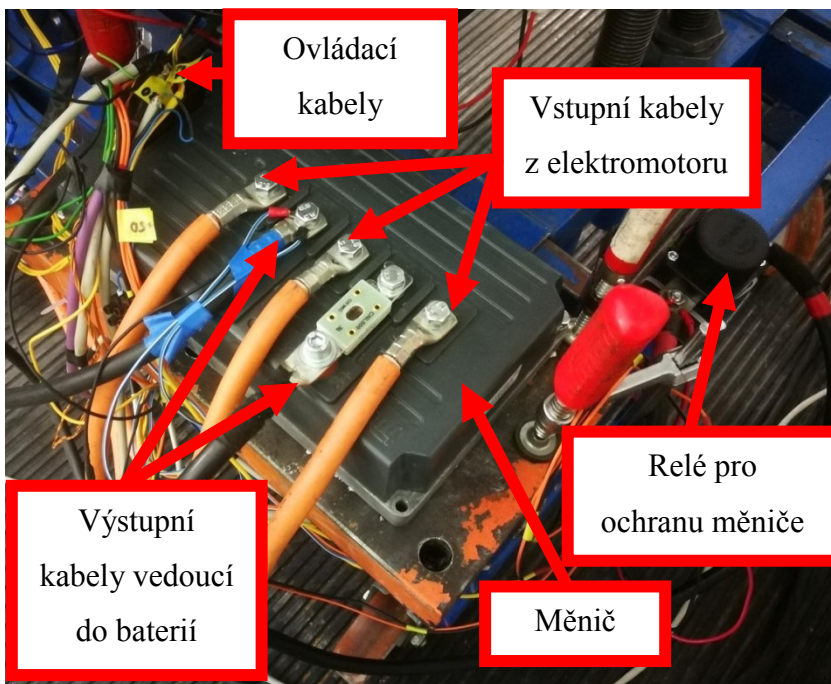
4.1. Připojení generátoru k akumulátoru

Generátor byl umístěn do zkušební místnosti pro měření výkonnostních parametrů spalovacích motorů i elektromotorů, která je vybavena odvětráním spalin, přípojkou na chladicí okruh a motorovou brzdou s 12V akumulátorem. Bylo připojeno chlazení spalovacího motoru, viz **Obr. 67**. Chladicí věž je připojena k čerpadlům, které přivádí vodu z externí nádrže. Množství vody ze zásobníku přivedené do chladicí věže reguluje termostat, který otevírá nebo zavírá vstupní ventil.



Obr. 67 Generátor umístěn v kopce s připojeným chladicím okruhem.

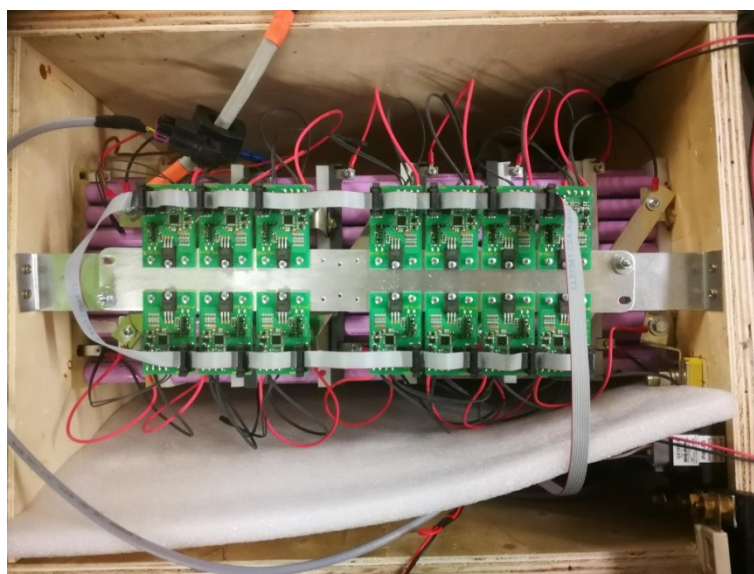
Pro možnost regulace chodu generátoru byl připojen měnič, viz **Obr. 68**, který měnil parametry elektrické energie vystupující z elektromotoru na požadované hodnoty vhodné pro



baterie. Výstupy z měniče vedly na bateriový box, ve kterém se akumulovala vygenerovaná energie. Měnič na svém výstupu generoval okolo 55V DC, vyšší napětí by mohlo vést k poškození baterií.

Obr. 68 Měnič s kompletním zapojením.

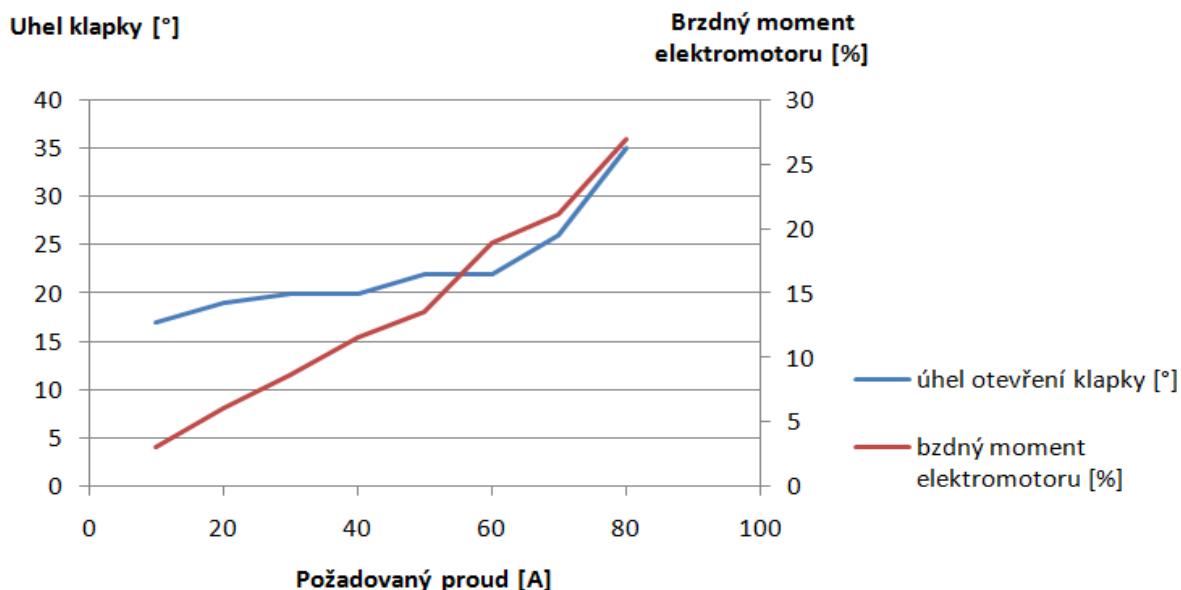
Bateriový box se skládá s velkého počtu bateriových článku o hodnotách 1100mAh. Tyto články se sérioparalelně zapojily do bloku se sloučeným napětím 4V. Segmenty s balanční elektronikou, která umožňuje vyrovnávání napětí mezi jednotlivými bloky, spolu tvoří celý bateriový box o parametrech 100Ah a 53V, viz **Obr. 69**.



Obr. 69 Bateriový box s řídicí elektronikou a vyrovnávačem napětí mezi jednotlivými články.

4.2. Měření výkonových parametrů generátoru

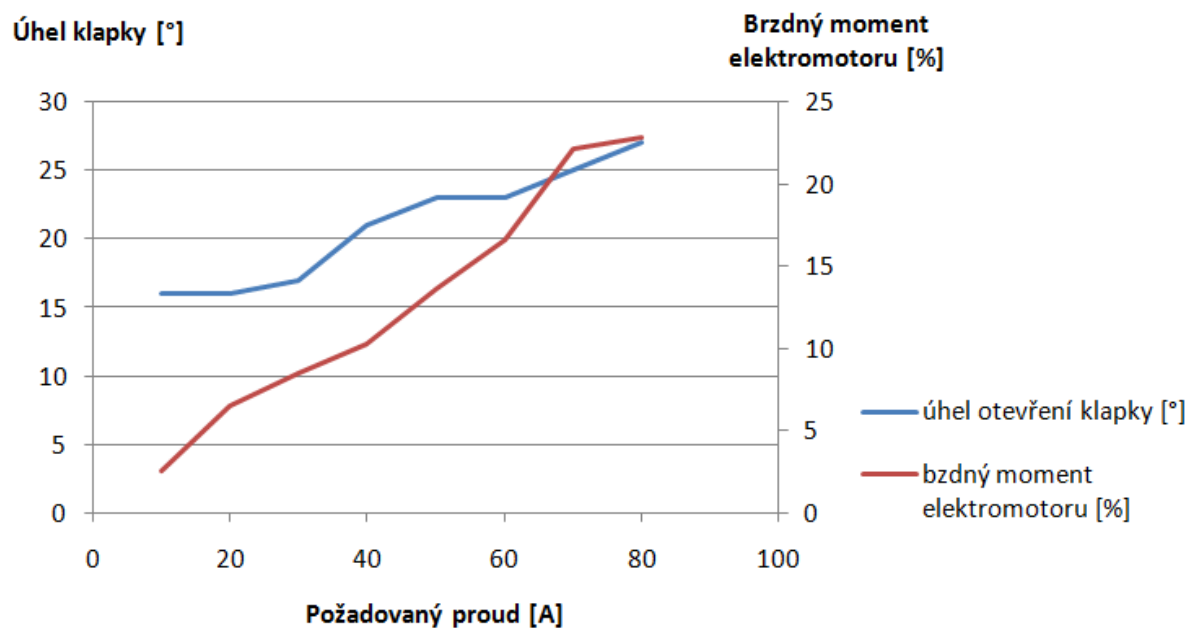
S ohledem na ochranu baterii proti přepětí bylo nutné zvolit nejvyšší generovaný proud 80A a nejvyšší přípustné napětí na jednotlivých blocích bateriového boxu 4,1V. Při překročení těchto hodnot by došlo k poškození baterií. Stav baterií byl sledován na počítači ve vytvořeném programu pro tento typ bateriového boxu. Stav výstupních parametrů z měniče byl zachycen snímačem na bateriovém boxu.



Obr. 70 Závislost otevření škrtkové klapky a brzdný moment elektromotoru na požadovaném proudu na 3. převodový stupeň.

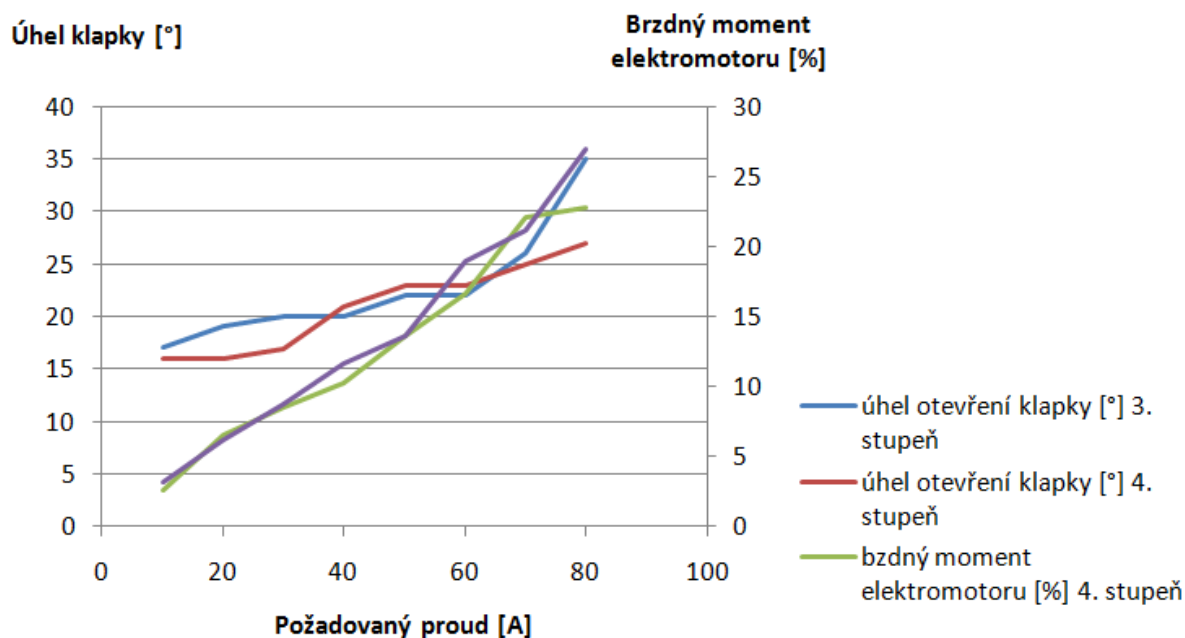
Obr. 70 vyobrazuje vstupní parametry v závislosti na požadovaném výstupním proudu. Z grafu vyplývá, že pro námi zvolený minimální požadovaný proud (10A) je úhel otevření škrtkové klapky 17° a brzdný moment elektromotoru 3%. Takto malý úhel nasvědčuje tomu, že se pohybuje v nízké oblasti výkonového rozsahu spalovacího motoru. Kvůli tomuto faktu nelze využít maximálního výkonu spalovacího motoru. Z důvodů nevyužitelnosti maximálního výkonu nebyl tento faktor omezující. Oproti tomu nabízí nižší spotřebu, což je pro generátor klíčové.

Pro vyšší proudy křivka úhlů otevření klapky nabírá exponenciální tvar, zatímco průběh brzdného momentu elektromotoru stoupá spíše lineárně, proto je jeho ladění pomocí potenciometru snazší. V hodnotách 80A je škrtková klapka spalovacího motoru otevřená na 35° což z 90° tvoří menší třetinu možného výkonu. Brzdný moment pro 80A je 27% a rovněž se nachází v první třetině možného odporu a proto se dá říci, že oba motory pro hodnoty výstupního proudu do 80A pracují v 30% zatížení.



Obr. 71 Závislost otevření škrťací klapky a brzdný moment elektromotoru na požadovaném proudu na 4. převodový stupeň.

Obr. 71 také zachycuje vstupní parametry v závislosti na požadovaném proudu, s tím rozdílem, že tentokrát se jedná o čtvrtý převodový stupeň.



Obr. 72 Porovnání vstupních parametrů na požadovaném proudu pro 3. a 4. stupeň.

V porovnání s grafem pro třetí převodový stupeň, viz **Obr. 72** lze vidět, že pro hodnotu výstupního proudu 10A je škrticí klapka spalovacího motoru pootevřená o jeden stupeň méně a brzdny moment elektromotoru je o půl procenta nižší, což je nepatrný rozdíl. Podstatný rozdíl nastává u výstupního proudu 80A, kdy je úhel otevření klapky o 8° nižší a brzdny moment je o 4% výši.

4.3. Shrnutí dosažených výsledků

Z informací dosažených jednotlivými měřeními vychází, že pro celkovou úsporu se jeví jako lepší možnost použít čtvrtý převodový stupeň i z hlediska využití spalovacího motoru na požadovaných výstupních proudech do 80A. Z důvodů menšího brzdneho odporu a nižšímu úhlu otevření škrticí klapky.

Z pohledu elektromotoru, který má nejvyšší účinnost od 2000-2200 ot/min (z naměřených dat na motorové brzdě) je vhodné nepřekračovat tento rozsah otáček z důvodu jeho nižší účinnosti. Není vhodné výrazně překračovat otáčky z výše uvedeného rozsahu, kvůli možnému poškození komponent elektromotoru. Proto se nedá dosahovat vyššího proudu než 80A a rovněž zachovávat optimální rozsah otáček, jelikož spalovací motor se zařazeným 4. rychlostním stupněm nedisponuje dostatečným krouticím momentem k překonání tak velkého zatížení.

Proto je nutné měnit 3. a 4. Převodový stupeň v závislosti na aktuální potřebě generování proudu, tedy pro malé proudy 4. převodový stupeň, díky jeho úspoře a šetrnosti k zařízení. Pro velké proudy použít 3. převodový stupeň kvůli jeho vyššímu krouticímu momentu a schopnosti snášet požadovaný odpor elektromotoru i v otáčkách okolo 2000 ot/min.

V samotném nastavení vstupních parametrů generátoru figurují dvě nezávislé hodnoty, a to úhel otevření škrticí klapky a brzdny moment elektromotoru, které lze nastavit v reálném čase za chodu generátoru. Pro automatizaci bude muset tyto hodnoty zajišťovat elektronický řídicí systém. Dalším krokem k dosažení informací příkonu a výkonu bude nutností zařazení do systému průtokoměr, který bude sledovat spotřebu CNG a s následných výstupních hodnot stanovit účinnost celého generátoru.

Závěr

Cílem bakalářské práce bylo upravit mechanickou škrticí klapku na elektronicky ovládanou, podrobit jí testováním na spalovacím motoru Kawasaki Versys 650. Dále zkompletovat spalovací agregát a elektromotor Schwartz a tím vytvořit generátor elektrického proudu a rovněž toto zařízení ověřit a vyhodnotit výsledná data.

Prvním bodem byl návrh a popis přestavby mechanicky řízené škrticí klapky na elektronicky řízenou pomocí 3D tisku, což se následně ukázalo jako nevyužitelné. Poté se přešlo k upravení hliníkové, sériové, škrticí klapky. Ovládání ústrojí škrticí klapky bylo realizováno pomocí programovatelného čipu Arduino. Úprava byla podrobena úspěšnému testování motorové brzdě.

Dalším cílem bakalářské práce byla kompletace spalovacího motoru Kawasaki Versys 650 s elektromotorem Schwartz. Spalovací motor byl umístěn ve stabilním rámu, otázkou tedy zůstávalo jak připojit elektromotor k rámu. Nakonec bylo připojení zrealizováno pomocí přivařených úchytnů na rám spalovacího agregátu a šroubovým spojem přes přírubu, která byla rovněž spojená s elektromotorem šroubovými spoji.

Zkompletovaný generátor byl přesunut do místnosti pro testování motorů a zapojen k frekvenčnímu měniči na výstupech z elektromotoru. Ten měl za úkol skrze požadavky na výstupní proud regulovat výstupní elektrickou energii na hodnoty vhodné pro akumulaci do baterie boxu. Jako vstupní proměnné do regulace zasahovaly dva na sobě nezávislé parametry. Jedním z nich byl úhel natočení škrticí klapky ve stupních, a druhý byl brzdný moment elektromotoru v procentech. Úhel nastavován pedálovým potenciometrem byl vysílán do elektronického řízení škrticí klapky, ta ho zpracovala skrze programovatelný čip a pootvěřela klapku na požadovaný úhel. Brzdný moment byl regulován kruhovým potenciometrem, jehož hodnoty zpracovával měnič a podle úrovně požadavku brzdného odporu jej nastavil na elektromotoru. Jako zobrazovací zařízení výstupních dat byl využit počítač, který dostával informace od snímačů umístěných uvnitř měniče.

Výstupní hodnoty byly zpracovány, z nichž vyšlo za jakých hodnot úhlů otevření škrticí klapky a brzdného momentu elektromotoru bylo dosaženo výstupního výkonu v jednotkách kilowatt. Z důvodů absence informací o přesné spotřebě paliva nebylo možné určit celkovou účinnost generátoru. Proto bylo navrženo pro další postup testování generátoru začlenění do systému snímání spotřeby CNG.

Literatura

- [1] Kogenerační jednotky, firemní článek |Garadic technologie [cit. 3. 2018],
URL:<http://www.garadic.cz/nase-nabidka/kogeneracni-jednotky.html>
- [2] Linhartová Kateřina, Vyhodnocení ekonomické efektivity kogenerační jednotky v průmyslovém podniku | bakalářská práce [cit. 3. 2018],
URL:https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/61932/F3-BP-2015-Linhartova-Katerina-Vyhodnoceni_ekonomicke_efektivnosti_kogeneracni_jednotky_v_prumyslovem_podniku.pdf?sequence=10&isAllowed=y
- [3] Kogenerační jednotka, Co tvoří kogenerační jednotku, CEZenergo.cz [cit. 3. 2018],
URL:<http://www.cezenergo.cz/cs/o-kogeneraci/kogeneracni-jednotka.html>
- [4] Střídávavé motory, škola hellebrand.cz [cit. 4. 2018],
URL:http://skola.hellebrand.cz/text0910/ele/motory_str.pdf
- [5] PhDr. Svatopluk Pavlis, Stejnoseměrné motory, Elektrotechnika motorových vozidel, SNTL 1987, [cit. 3. 2018],
URL:http://www.sossoukyjov.cz/data/File/VY_32_INOVACE_6a13.pdf
- [6] Ing. Eva Navrátilová, ASYNCHRONNÍ MOTOR | Střední škola, Havířov - Šumbark [cit. 3. 2018],
URL:http://www.outech-havirov.cz/skola/files/knihovna_eltech/esp/asynch_motor.pdf
- [7] Autoklub Toyota, článek hybridní technologie [cit. 3. 2018],
URL: <https://www.toyota-poprad.sk/articles/co-je-to-hybrid>
- [8] Michael Bohm, Termodynamická analýza Atkinsonova a Millerova cyklu, vutbr.cz [cit. 3. 2018],
URL:https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=147463
- [9] Michael Grayen, What is a FuelSystem 'Throttle Body'? | carid.com [cit. 3. 2018], URL:
<https://www.carid.com/articles/what-is-fuel-system-throttle-body.html>
- [10] Radek Jandora, Hydrodynamika, proudění [cit. 3. 2018],
URL:<http://radek.jandora.sweb.cz/f06.htm#proud>
- [11] Termodynamická sbírka příkladů, Proudění plynů, izoentropický výtok ideálního plynu z nádob, vutbr.cz [cit. 3. 2018].
URL:<http://ottp.fme.vutbr.cz/skripta/termomechanika/Sbirka/index.htm>
- [12] Ing. Michal Jurák, VŠB Ostrava, Fakulta strojní, Modelování hnacího ústrojí osobních automobilů v Matlab/Simulink, [cit. 4. 2018],
URL: <http://ottp.fme.vutbr.cz/skripta/termomechanika/sbirka/Spt10.htm>

[13] Bc.ZDENĚK NOVOSAD, Sací potrubí zážehového závodního motoru, vutbr.cz
[cit. 3. 2018].

URL:https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=16904

[14] DUŠEK, Jiří. Elektronická škrtkící klapka. Závěrečná práce, VUT Brno. 2011.

[cit. 2. 2018].

URL: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=38673