



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO  
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

## ÚPRAVA SÉRIOVĚ VYRÁBĚNÉHO SPALOVACÍHO MOTORU NA MOTOR PRO ZÁVODNÍ POUŽITÍ

ADJUSTMENT AND MODIFICATION MADE TO THE SERIALY PRODUCED COMBUSTION  
ENGINE TO GET AN ENGINE FOR RACING PURPOSES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

TOMÁŠ ZÁVODNÝ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

ING. ONDŘEJ MARŠÁLEK

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2014/2015

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Tomáš Závodný

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Stavba strojů a zařízení (2302R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Úprava sériově vyráběného spalovacího motoru na motor pro závodní použití**

v anglickém jazyce:

#### **Adjustment and modification made to the serially produced combustion engine to get an engine for racing purposes**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Student v rámci tvorby bakalářské práce popíše konstrukci daného sériově vyráběného spalovacího motoru. Zdůvodní jeho výběr a vhodnost pro budoucí úpravy k závodnímu použití. Dále popíše všechny zásahy do jeho původní konstrukce a jeho finální podobu. Všechny tyto úpravy již byly na reálném spalovacím motoru realizovány. Proto bude přistoupeno k vymodelování obou variant spalovacího motoru v MBS softwaru Adams a vyhodnocena shoda mezi skutečně naměřeným výkonem reálného spalovacího motoru a výkonem získaným z numerické simulace. Pro získání tenzorů setrvačnosti bude zapotřebí všechny zmodifikované i příslušné sériové komponenty vymodelovat ve vhodně zvoleném CAD softwaru.

Cíle bakalářské práce:

- Úvodní do problematiky
- Popis spalovacího motoru a jeho konstrukčních úprav
- 3D modely původních a příslušných zmodifikovaných komponent
- MBS modely obou variant spalovacích motorů
- MBS simulace
- Závěrečné zhodnocení

Seznam odborné literatury:

- [1] MILLIKEN, William a MILLIKEN, Douglas.: Race Car Vehicle Dynamics. 1st edition. Warrendale: SAE, 1995. 857 s. ISBN 1-56091-526-9.
- [2] ČUPERA, Jiří a ŠTĚRBA, Pavel. Automobily (7): Diagnostika motorových vozidel I. Brno: Avid, spol. s r.o., 2009. ISBN 978-80-87143-9-7.
- [3] STONE, Richard. Introduction to Internal Combustion Engines. 3rd edition. Hampshire: Palgrave, 1999. ISBN 0-333-74013-01999.
- [4] HEISLER, Heinz. Advanced Engine Technology. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. ISBN 1-56091-734-2.
- [5] SKOTSKY, Alexander A. Automotive Engines. Springer Verlag, 2009, ISBN 978-3-642-00163-5.
- [6] BERND, Simeon. Computational Flexible Multibody Dynamics: A Differential-Algebraic Approach [online]. 2013 [cit. 2013-07-30]. ISBN 978-3-642-35158-7. Dostupné z: <http://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-35158-7/page/1>

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Ondřej Maršálek

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 21.11.2014

L.S.

---

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.  
Ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
Děkan fakulty



## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce rozebírá úpravu motoru pro závodní použití do autokrosu. První část práce je pojata jako rešeršní a je zaměřená na to proč byl tento motor upravován a dále jaké úpravy byly provedeny. Další část se věnuje provedení simulace v softwaru ADAMS MD R3. Výsledky těchto simulací byly dále zpracovány a vyhodnoceny. Závěr obsahuje srovnání výsledků ze softwaru s výsledky ze skutečné motorové brzdy, a zhodnocuje celkový úspěch tohoto projektu v reálném životě.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Autokros, úprava spalovacího motoru, Xbuggy, atmosferický motor, ADAMS, MBS

## **ABSTRACT**

This bachelor's thesis analyses the modification of the serially produced combustion engine to get an engine for racing purposes. The first part is conceived as searching and is focused on why this serially produced engine was modified to racing engine and which adjustments were made on this naturally aspirated engine. Another part was dedicated to design simulation in the software ADAMS MD R3 and the results of these simulations were processed and evaluated. Conclusion contains a comparison of the results from the software and results from an actual engine dynamometer, and what is the overall success of the project in real life.

## **KEYWORDS**

Autocross, modification of combustion engine, Xbuggy, naturally aspirated engine, ADAMS, MBS



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

ZÁVODNÝ, T. *Úprava sériově vyráběného spalovacího motoru na motor pro závodní použití*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 32 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Ondřej Maršálek.



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Ondřeje Maršálka a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 29. května 2015

.....

Tomáš Závodný



## PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat svému otci a panu Albrechtovi, bez kterých bych nebyl schopný tuto bakalářskou práci dokončit, dále svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Ondřeji Maršálkovi za jeho trpělivost a čas který mi věnoval při vypracovávání bakalářské práce. Poté ještě svojí přítelkyni a matce za psychickou podporu.



## OBSAH

Úvod .....	9
1 Úvod do problematiky .....	10
1.1 Důvody pro stavbu automobilu .....	10
1.2 Proces výběru motoru .....	11
2 Popis spalovacího motoru a jeho úprav .....	12
2.1 Popis původní verze spalovacího motoru .....	12
2.2 Volba úprav na motoru .....	12
2.3 Detailní popis úprav částí motoru .....	13
2.3.1 Blok motoru .....	13
2.3.2 Hlava válců .....	13
2.3.3 Píst .....	14
2.3.4 Ojnice .....	14
2.3.5 Pístní čep .....	16
2.3.6 Pístní kroužky .....	16
2.3.7 Zdvihátka ventilů .....	16
2.3.8 Talíře pružin .....	17
2.3.9 Vačkové hřídele .....	17
2.3.10 Ventilové pružiny .....	18
2.3.11 Sací potrubí .....	19
2.3.12 Výfukové potrubí .....	19
2.3.13 Olejový a vodní chladič .....	20
2.3.14 Tří-lamelová spojka .....	21
2.3.15 Setrvačnick .....	21
2.3.16 Utěsnění rozvodů .....	21
2.3.17 Vstřikovače paliva .....	21
2.3.18 Řídící jednotka .....	21
2.4 Popis upraveného spalovacího motoru .....	22
3 Simulace v ADAMS MD R3 .....	24
3.1 Nastavení modelů motoru původního a závodního .....	24
3.2 Příprava simulace v ADAMS MD R3 .....	25
3.3 Zahájení simulace v ADAMS MD R3 .....	26
3.4 Vyhodnocení získaných dat .....	27
3.5 Zhodnocení a porovnání výsledků .....	29
Závěr .....	30
Seznam použitých zkratk a symbolů .....	32





## ÚVOD

Autokros je sport, ve kterém se závodí v jednomístných vozidlech s velkým výkonem a pohonem všech čtyř kol. Tato vozidla řídí profesionální závodníci. Jedná se o velice dynamický sport, který se jezdí jen na pár kol. Tratě pro tento sport bývají plné prudkých zatáček, vysokých kopců a někdy i skoků. Jízda na takovém okruhu je velký adrenalinový zážitek.

Ze strany diváků je neuvěřitelný zážitek už jen pohled na probíhající závody. Snad každý fanoušek toužil někdy v životě po svezení v takovém vozidle, třeba i jako spolujezdec. Tento sen byl ale velice nereálný, ne-li nemožný.

Celkově je tento sport, jako každý vrcholový sport, velice nákladný. Skoro celé vozidlo je originál, vybudováno z ničeho, takže jeho cena je vysoká, taktéž provoz. Proto peníze hrají velkou roli i zde, jako v každém vrcholovém sportu. Více peněz se rovná lepší věci a součásti a tím větší šance na vítězství. Jako v každém sportu se i zde nacházejí sponzoři, ale není jich tolik a ani peněz. Proto je situace většinou řešena tak, že sami závodníci, nebo jejich otcové vlastní firmu a ta ve velké většině sponzoruje závodní stáj. Ovšem i tento systém není dokonalý a dovedl již několik firem k bankrotu.

Z těchto důvodů byl vznesen požadavek na stavbu závodního speciálu s místy pro dvě osoby. S tím, že ho řídil kvalifikovaný závodník a na místě spolujezdce mohl sedět potenciální sponzor, nebo fanoušek, který byl ochoten zaplatit za tuto jízdu, nebo také milovník adrenalinových zážitků.

Proto jsem si zvolil toto téma bakalářské práce. Měl jsem možnost být přítomen u stavby tohoto vozidla a jeho motoru a chtěl jsem, aby tento proces byl nějak zdokumentován. A aby bylo vidět, že je možnost vybudovat takový závodní stroj převážně na základě zkušeností a jen s malým množstvím výpočtů, jako například výpočet kompresního poměru.



# 1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

## 1.1 DŮVODY PRO STAVBU AUTOMOBILU

Jeden z hlavních důvodů pro stavbu vozidla byl ten, aby byli k autokrosu přilákáni další sponzoři a tím byl zajištěn nový zdroj peněz k placení nákladů spojených se závoděním. Z toho důvodu, že některé stáje to měly tak, že většina závodníků byla zároveň i podnikateli a podnik, který vlastnili, sponzoroval jejich závodní stáj, nebo druhá situace byla, že závodili jejich synové a otcové vydělávali peníze pro provoz stáje.

Sponzoři si mohli vyzkoušet adrenalinovou jízdu na místě spolujezdce v tomto speciálně upraveném automobilu, při které mohli zažít mnoho jedinečných okamžiků. Tyto okamžiky by je mohly nadchnout a přesvědčit k tomu, aby poskytli své finanční zdroje k provozu autokrosové závodní stáje. Tohle všechno bylo zapotřebí, jelikož autokros není tak komerční závodění jako například MotoGP, kde je mnohem více sponzorů a peněz, ale i fanoušků.

Fanouškové byli druhý důvod, proč byl tento automobil sestrojen, aby byl autokros zpopularizován i u běžných lidí a přivedl diváky na závody. A oni si tak mohli vyzkoušet jízdu v tomto speciálu během sezóny v pauzách mezi závody, nebo mimo sezónu v určené dny, ovšem jen pokud si zakoupili voucher na jízdu.

Klasický závodní vůz na autokros je jednomístný, v kabině je pouze pilot. Tento speciál byl vybudován dvoumístný, kde pilot je profesionálním závodníkem autokrosu a spolujezdec může být kdokoliv, kdo si zakoupil jízdu. Tento závodní speciál dostal název Xbuggy.



*Obr. 1 Xbuggy na závodní trati v Humpolci [12]*



## 1.2 PROCES VÝBĚRU MOTORU

Tento motor byl původně používán v závodním vozidle. Kvůli autentickému prožitku z jízdy a ušetření nákladů při stavbě Xbuggy byl použit i pro toto vozidlo. Na tento závodní motor byly kladeny požadavky, aby měl velký výkon již z výroby a byl cenově dostupný. Dále aby mohly být některé jeho části upraveny a znovu použity, nebo nemusely být upravovány vůbec. Nejlépe aby měl vhodný rozvod. Například OHC rozvod, který není tak pružný jako jiné typy rozvodů a je také lehčí. Tento motor má typ rozvodu DOHC, což je typ, kde na každé hlavě jsou dvě vačkové hřídele, jedna pro sací ventily a druhá pro výfukové ventily. Nejlepší volbou se zdál být atmosferický motor s šesti válci.

Kritéria splňoval motor, který byl montovaný do Peugeotu 406 Coupé v roce 1997 až do roku 2000. Kupovat celé auto by bylo neekonomické, a proto byl zakoupen pouze motor prostřednictvím inzerátů, nebo z vrakoviště. Nadále jeho části byly upraveny tak, aby byl získán požadovaný výkon.

Místo atmosferického motoru s šesti válci mohl být použit motor se čtyřmi, nebo osmi válci, ale na takové typy motorů se vztahují jiná pravidla ohledně váhy celého vozu a objemu motoru, která určuje FIA (francouzsky - Fédération Internationale de l'Automobile, česky - mezinárodní automobilová federace). V autokrosu je možné závodit v různých divizích, které jsou tři. Každá divize je omezená na maximální obsah motoru. Nejnižší je JuniorBuggy, kde může mít motor maximálně obsah  $600\text{cm}^3$ , pak je prostřední divize Buggy1600 kde je obsah omezen na  $1600\text{cm}^3$ , a nejsilnější motor může být v divizi SuperBuggy s obsahem  $4000\text{cm}^3$  do této divize spadá i náš motor. Dále se v divizi SuperBuggy obsah motoru mění podle toho, zda je přeplňovaný turbodmychadlem, nebo kompresorem u těchto typů je povolen maximální obsah motoru  $2300\text{cm}^3$ . Váha vozu se odvíjí podle toho, jaký motor byl použit [7].



Obr. 2 Závodní jednomístná SuperBuggy [9]



## 2 POPIS SPALOVACÍHO MOTORU A JEHO ÚPRAV

### 2.1 POPIS PŮVODNÍ VERZE SPALOVACÍHO MOTORU

Tento spalovací motor byl následovníkem PRV motoru, který používaly automobilky Peugeot, Renault, Volvo (odtud zkratka PRV) do roku 1998. První typ nového motoru byl vyvinut v roce 1997 skupinou PSA Peugeot a Citroen a poprvé byl představen v automobilu Peugeot 406 Coupé [6].

Byl to atmosferický vidlicový šesti-válec s úhlem  $60^\circ$  mezi válci, blok byl vyroben celý ze slitiny hliníku s litinovými vložkami válců o průměru vrtání 87mm a zdvihu 82,6mm. Každý válec měl 4 ventily, 2 sací a 2 výfukové, což dohromady dělalo 24 ventilů. Tyto ventily byly stlačovány rozvodem dvakrát DOHC, který byl poháněný klínovým řemenem. Výsledné parametry motoru byly následující: objem  $2946\text{cm}^3$ , výkon 142kW a krouticí moment 267N.m [4], [6].



Obr. 3 Peugeot 406 Coupé V6 [11]

### 2.2 VOLBA ÚPRAV NA MOTORU

Motor byl upraven s hlavním ohledem na to, aby u něj bylo dosaženo co nejvyššího výkonu a točivého momentu. Aby bylo ušetřeno za náklady, tak byly použity komponenty, které již byly na motoru namontovány a jen byly upraveny, nebo zůstaly původní. Jako například kliková hřídel, vačková hřídel a zdvihátka.

Zvýšení výkonu u atmosferického motoru by bylo možné dosáhnout tím, že by byl zvětšen průměr vrtání v motorovém bloku a zvýšen celkový obsah motoru. Dále změnou kompresního poměru prodloužením ojnice a přebroušením hlavy válců a výměnou těsnění pod hlavou válců za vhodnější. To by také přispělo ke zvýšení celkového výkonu spalovacího motoru. Tyto úpravy u tohoto motoru byly samozřejmě provedeny, i několik dalších, které budou popsány níže a podrobněji [3].



## 2.3 DETAILNÍ POPIS ÚPRAV ČÁSTÍ MOTORU

### 2.3.1 BLOK MOTORU

Jelikož byl motor atmosférický šesti-válec, tak nejvýraznější zvýšení výkonu bylo dosaženo tím, že by byl zvětšen obsah motoru. To samozřejmě proběhlo a bylo zvětšeno vrtání bloku motoru z původních 87mm na 95mm a dosedací plocha pro hlavu válců byla zbroušena kvůli lepšímu dosednutí na těsnění.



Obr. 4 Blok atmosférického šesti-válcového motoru

### 2.3.2 HLAVA VÁLCŮ

U hlav válců byly přebroušovány dosedací plochy na blok motoru kvůli rovinnosti plochy, a aby byl v kombinaci s hlavovým těsněním zvýšen kompresní poměr motoru na  $\varepsilon = 12,9$  z původních  $\varepsilon = 10,9$ . Hlavové těsnění bylo vyrobeno na zakázku z ocelových tenkých plechů slisovaných k sobě. Celková tloušťka hlavového těsnění byla od 1,1mm do 1,5mm, aby bylo dosaženo požadovaného kompresního poměru. Poté ještě byla zvětšena plocha sacích kanálů, z důvodu, aby bylo možno do prostoru válce nasát větší množství směsi za kratší čas [3].



Obr. 5 Dosedací plocha hlavy válců i s ventily

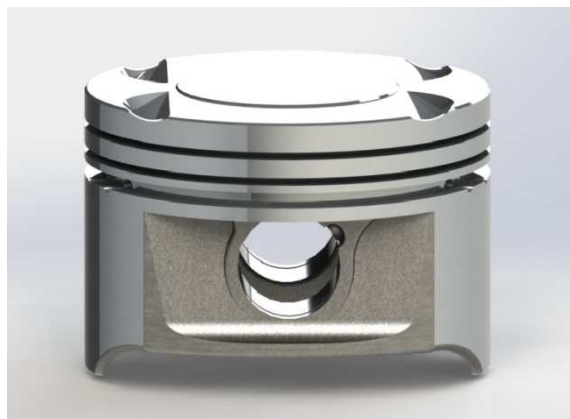


### 2.3.3 PÍST

Píst byl vyroben metodou zápusťkového kování ze slitiny hliníku, aby byl co nejlehčí a zároveň nejpevnější a aby nezhoršoval mechanickou účinnost motoru při vysokých otáčkách. Dno pístu mělo vybrání kvůli ventilům v hlavě, aby byl snížen škodlivý prostor, a byl zlepšen kompresní poměr. Některé jeho důležité funkční plochy byly obrobeny a průměr pístu byl zvětšen z 87mm na 95mm. Celková výška pístu byla snížena, ale i když byl z pístu odebrán přebytečný materiál odvrtáním, tak celková hmotnost byla vyšší, než u pístu původního. Ta činila 370g oproti původním 344g, takže zde nastal mírný nárůst hmotnosti o 26g, což bylo možné očekávat při takovém zvětšení průměru, ale nárůst nebyl tak radikální [1].



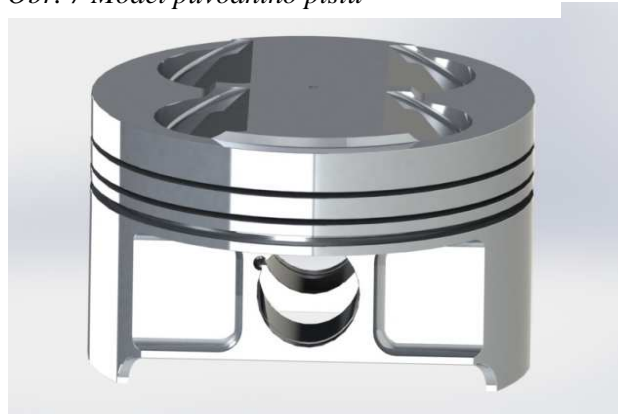
Obr. 6 Původní píst



Obr. 7 Model původního pístu



Obr. 8 Závodní píst



Obr. 9 Model závodního pístu

### 2.3.4 OJNICE

U ojnice byla provedena nejspíše největší změna, z původní kované, byla tato závodní ojnice frézována z jednoho kusu oceli. Kovaná ojnice by byla pevnější, kdyby byla použita. Byla tu ale možnost, že by nebyla dodržena předepsaná kovací teplota a to by mohlo snížit celkovou pevnost ojnice. Vliv teploty byl eliminován tím, že ojnice byla odfrézována z jednoho kusu válcované oceli třídy 16. Díky frézovanému povrchu má ojnice i lepší vrubovou houževnatost.

Tvar ojnice byl změněn z tvaru „I“ na „H“, který lépe přenáší síly a byla u něj možnost odebrat více materiálu, což vede k většímu snížení hmotnosti. Ojnice byla dělená řízeným lomem a dosedací plochy byly poté broušeny. Spoj obou částí byl proveden ojnicními šrouby bez matky, takže v tělese ojnice byl vytvořen závit, který nepřesahuje dělicí rovinu, aby šroub



po dotažení nedeformoval dělicí plochu. Toto vedlo k dalšímu snížení hmotnosti ojnice, což bylo důležité z hlediska setrvačných sil [1].

Původní ojnice i se šrouby a matkami vážila 660g. Oproti tomu závodní ojnice i se šrouby vážila jen 554g, takže hmotnost ojnicí skupiny byla snížena o 106g. To bude mít pozitivní vliv na setrvačné síly. Také byl změněn zdvih ojnice ze 155mm na 157,5mm, tedy o 2,5mm, což přispělo ke zvýšení kompresního poměru společně s přebroušením hlavy válců a výměnou těsnění.



*Obr. 10 Původní ojnice s ojnicími ložisky, bez spojovacích šroubů*



*Obr. 11 Model původní ojnice s ojnicími ložisky, bez spojovacích šroubů*



*Obr. 12 Závodní ojnice s ojnicími ložisky, bez spojovacích šroubů*



*Obr. 13 Model závodní ojnice s ojnicími ložisky, bez spojovacích šroubů*



### 2.3.5 PÍSTNÍ ČEP

Pístní čep byl vysoustružený z oceli, měl stejný průměr jako původní čep ze sériového motoru. Jen jeho kuželové vybrání mělo větší průměr než původní pístní čep, kvůli snížení jeho hmotnosti. Pístní čep je uložen v pístní soustavě jako plovoucí a proto musí být zajištěný proti vysunutí. To je provedeno pomocí dvou ocelových drátků, na které působí malé zrychlující síly. Tyto drátky zapadají do vybrání v pístu. Hmotnost továrního pístního čepu byla 104g a závodního 90g, takže došlo k ušetření 14g hmotnosti [1].



Obr. 14 Původní pístní čep



Obr. 15 Model původního pístního čepu

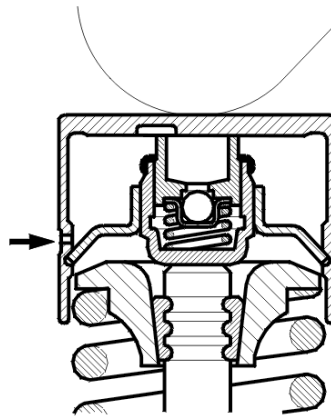
### 2.3.6 PÍSTNÍ KROUŽKY

Pístní kroužky byly objednány už vyrobené, aby bylo ušetřeno za výrobu, a aby byly nejvhodnější pro nově vyrobený píst o průměru 95mm. Byly to ocelové, kalené pístní kroužky, které byly složeny ze dvou kroužků těsnících a jednoho kroužku stíracího.

### 2.3.7 ZDVIHÁTKA VENTILŮ

Původní ventilová zdvihátka byla hydraulická hrníčková, která jsou k závodění nejvhodnější. Díky tomu, že jsou schopná vyrovnávat boční síly vznikající při tření mezi vačkovým hřídelem a hrníčkem. Hydraulické vymezování vůle se u závodních motorů nepoužívá, z toho důvodu, že při rozkmitání rozvodu by mohlo dojít ke zvětšení vůle mezi hrníčkem a vačkou. Hydraulika by tuto vzniklou mezeru vymezila a mohlo by se stát, že díky této nově vymezené vůli by ventil nedosedl zpátky do sedla, tím by zamezil těsnosti spalovací komory a zhoršil by průběh spalování směsi a snížil výkon motoru. Proto byla zdvihátka upravena z hydraulických na mechanická s pevnou vůlí, mezi vačkovými hřídeli a hrníčky rozvodu, nastavenou na 0,2mm u sacího ventilu a u výfukového ventilu na 0,25mm [1].

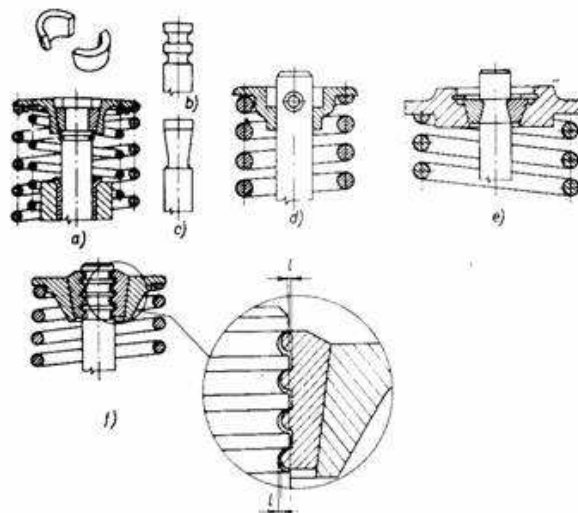




Obr. 16 Hydraulické zdvihátko [10]

### 2.3.8 TALÍŘE PRUŽIN

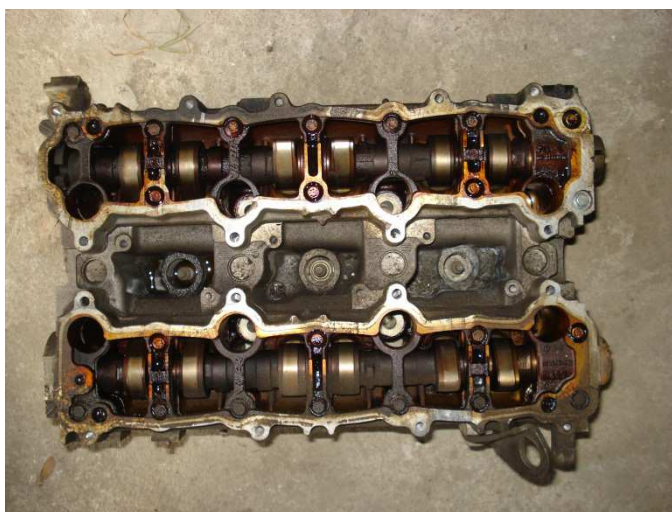
Talíře slouží k zamknutí ventilových pružin přes zámkové prvky ventilů, aby zůstaly na pozici. Nové talíře byly vyrobeny ze slitiny hliníku a vyměněny za původní ocelové, aby byla snížena jejich hmotnost. Tato úprava byla provedena jenom kvůli snížení hmotnosti a setrvačných sil u rozvodu.



Obr. 17 Talíře ventilů a uložení klínek do vybrání ventilů [7]

### 2.3.9 VAČKOVÉ HŘÍDELE

Vačkové hřídele byly jedny z mála součástí, které byly použity původní ze sériového motoru a pouze upraveny a namontovány zpět. Úprava úhlu a zdvihu vaček proběhla jak u sací, tak i výfukové vačky.



Obr. 18 Sací a výfuková vačková hřídel namontována v hlavě válců

### SACÍ VAČKOVÁ HŘÍDEL

Vačková hřídel, která otevírá sací ventily, byla přebroušena na 318 stupňů, aby náběh vačky na sací ventil byl strmější a do prostoru válce bylo dopraveno více směsi za kratší časový interval. Profil vačkové hřídele je konkávní, jiný ani nemohl být použitý, jelikož vačka stlačuje hrníček. Kdyby byl profil konvexní, tak by docházelo k rázům. Zdvih vačkové hřídele byl zvýšen na 12,95mm z původních 10,9mm.

### VÝFUKOVÁ VAČKOVÁ HŘÍDEL

U výfukové vačkové hřídele byla provedena stejná úprava jako u sací vačkové hřídele, ale ve finále byla zbroušena na mírně odlišný úhel, 310 stupňů. Zde byla tato úprava úhlu provedena proto, aby byly výfukové ventily otevřeny co nejrychleji do plna, aby byly spaliny ze spalovacího prostoru vytlačeny za co nejkratší čas a došlo i k výplachu spalovacího prostoru. Profil výfukové vačky je konkávní, ze stejného důvodu jako u sací vačky. Zdvih výfukové vačkové hřídele byl změněn na stejnou velikost jako u sací vačkové hřídele. Zdvih je roven 12,95mm z původních 10,9mm.

### 2.3.10 VENTILOVÉ PRUŽINY

Obvykle jsou u rozvodů OHC použity dvě pružiny, kde jedna je vložena do druhé a je vytvořena z drátku o menším průměru než pružina vnější. Ovšem u tohoto typu motoru byla použita pouze jedna pružina na ventil. Tyto ventilové pružiny byly vyměněny za tužší soudečkové pružiny s vyšší tuhostí materiálu. Z toho důvodu aby se ventily stihly zavřít v čas, než by se píst dostal do horní úvrati. Kdyby se tak nestalo, mohlo by dojít ke zničení pístní soustavy a celého motoru.

Aby byly všechny ventily zavírány stejně rychle, byly použity malé kalené podložky o rozměrech v řádu desetin milimetrů. Takto byly eliminovány výrobní odlišnosti u ventilových pružin. Takovéto vymezování zdvihu je nebezpečné, protože pružinové drátky by se mohly



dotknout mezi sebou. Tento stav by měl fatální následky pro provoz motoru, pružina by se mohla začít chovat jako pevné těleso a ztratila by svoji funkci. Mohlo by dojít i k prasknutí ventilové pružiny, takže by se ventil nemusel vrátit do sedla ventilu a tím by došlo ke kolizi s pístem a k poškození motoru.

Úprava probíhala tak, že pružiny byly zváženy a podle toho k nim byla přidána zakalená podložka, která sloužila k tomu, že o příslušnou délku přizvedla pružinu, tím změnila její výšku a pozměnila tuhost pružiny.

### 2.3.11 SACÍ POTRUBÍ

U sacího potrubí proběhla nejrozsáhlejší úprava, protože původní sériové motory měly jednu klapku na sání pro všechny válce a sací potrubí mělo velké úhly a změny směru, kde mohlo docházet k víření vzduchu před vstupem do válce, což je nežádoucí a vede ke ztrátě výkonu [1].

Celé sací potrubí bylo předěláno a vyměněno. Pro každý sací kanál bylo vyrobeno zvlášť. Potrubí bylo složeno ze tří částí a bylo vyrobeno co nejpřímější. K zabránění víření, muselo být co nejvíce vertikální. Celé od shora až ke vstupu do hlavy válců bylo zúžené, aby byla zvýšena rychlost vzduchu před vstupem do válce, díky tomuto se do válce dostalo více směsi za kratší čas a touto úpravou byl motor i mírně přeplňovaným.

První část byla vyrobená ve tvaru trychtýře a nejširší ze všech tří částí. Aby byl co nejlépe nasáván okolní vzduch v co největším množství. Druhá část byla nejdůležitější, protože zde byla namontována regulační klapka. To byla největší změna oproti původní jedné klapce pro všechny kanály. Nyní měl každý kanál svou vlastní klapku sání. Třetí část sání byla nejužší a byla zakončena s mírným zaobleným zkosením, aby vstup do hlavy válců byl co nejplynulejší.

Jelikož vozidlo jezdí po hliněné trati pro autokros, byl zde namontován ještě pěnový filtr, který bránil před vstupem hrubých i jemných částic do soustavy sacího potrubí. To bylo zabezpečeno dvěma pŕlkulatými filtry, které byly přidělány na přípravek ze svařeného plechu, který kryl první část sání.

### 2.3.12 VÝFUKOVÉ POTRUBÍ

Výfukové potrubí bylo vyrobeno z ocelových tenkostěnných trubek o průměru 5cm, které pak dále bylo rozšířeno na 8cm. Potrubí bylo vyrobeno na míru, podle celého vozidla, aby mohlo být dobře upevněno k jeho konstrukci, bez velkých poloměrů a úhlů. Ty by totiž mohly způsobovat víření výfukových plynů a nemuselo by docházet k perfektnímu vyplachování válce, nebo by k výplachu nedocházelo vůbec.

Výfukové těsnění, které slouží proti připečení výfukového potrubí k bloku motoru, bylo ponecháno originální. Výfuková potrubí jsou dvě, spojené do jednoho, schází se těsně před tlumičem výfuku. Tlumič na výfuku musí být namontován, protože hluk z tohoto upraveného motoru je obrovský a pravidla FIA dovolují maximálně 100dB/A, aby nedošlo k poškození sluchu.



Ve výfukové soustavě musí být podle pravidel FIA i katalyzátor, ale pravidla neudávají jeho velikost. Proto stačilo použít jen malou část katalyzátoru o šířce 2cm a vložit ji do výfukového potrubí před tlumič. K zajištění pohybu katalyzátoru ve výfuku, když došlo k zahřátí potrubí a zvětšení jeho průměru, posloužily drátky do kříže upevněné ve výfukovém potrubí.

### 2.3.13 OLEJOVÝ A VODNÍ CHLADIČ

#### OLEJOVÝ CHLADIČ

Původní sériový motor neměl olejový chladič, zde bylo třeba chladič přidat. Mazací soustava neměla žádný vývod, to bylo zařízeno přípravkem, který byl přidán před olejový filtr, přes který byl olej dopravován do hliníkového chladiče. Na tomto chladiči bylo z jedné strany vyrobeno zakrytování z ocelového plechu a na tomto zakrytování byl vyříznut kruhový otvor a přidělán elektrický ventilátor, který pomáhal chlazení. Toto opatření bylo provedeno z toho důvodu, že by se při vyšších provozních otáčkách mohl olej přehřívat a ztrácel by mazací vlastnosti a mohlo by dojít k zadření některé části motoru a jeho zničení. Z chladiče byl olej dopravován zpátky do přípravku a zpět do soustavy. Je vhodné, aby byl chladič co nejbližší motoru z důvodu snížení průtokových ztrát potrubím [1].



Obr. 19 Přípravek na odvod oleje do chladiče a zpět do oběhu

#### VODNÍ CHLADIČ

Původní vodní chladič, co byl u továrního motoru, by nebyl dostačující pro jeho nový provoz při závodním režimu. Takže byl vyměněn za větší, tím byla zvětšena teplosměnná plocha. Ke zvýšení efektivity chlazení bylo vytvořené zakrytování z ocelového plechu jako u chladiče oleje. K chlazení vody byly použity dva elektrické ventilátory, na rozdíl od olejového chladiče. To posloužilo k lepšímu odvodu teplého vzduchu z prostoru chladiče.



### 2.3.14 TŘÍ-LAMELOVÁ SPOJKA

Jedno-lamelová spojka by nezvládala přenášet vyšší krouticí moment a otáčky vycházející z upraveného závodního motoru do převodovky a mohla by se protáčet, protože třecí síla by nebyla dostatečně velká. Tento problém byl vyřešen výměnou původní spojky za tří-lamelovou spojku. Teplo vzniklé třením mezi spojkou a setrvačником byl další důvod, proč byla spojka vyměněna. Díky více lamelám bylo teplo lépe rozprostřeno a nedocházelo k zapékání, nebo spálení spojkové lamely [5].

### 2.3.15 SETRVAČNÍK

Setrvačnik byl k motoru přidán proto, aby vyrovnával jeho nerovnoměrný chod, protože se jedná o čtyřdobý motor a jeho spalování je nevyvážené. Čím těžší setrvačnik byl použit, tím plynulejšího chodu motoru bylo dosaženo [2], [5].

U závodních vozů jsou setrvačniky vyráběny lehčí, aby se motor dostal lépe k vyšším otáčkám. Snížením hmotnosti by byly sníženy i setrvačné účinky setrvačniku, ale my nemáme běžný závodní vůz [5].

Zde byl setrvačnik vyroben těžší než původní z toho důvodu, že lehčí, nebo i původní setrvačnik nezvládal vyrovnávat nerovnoměrnost chodu motoru. Po odstartování se samovolně snížily otáčky, proto byl setrvačnik vyměněn za těžší, díky kterému byl problém s propadem otáček vyřešen.

### 2.3.16 UTĚSNĚNÍ ROZVODŮ

Automobil je nasazen v prostředí, které je prašné a je v něm hodně nečistot. Proto rozvod tohoto vozidla musí být chráněn, aby nedošlo k mechanickému poškození, zadření rozvodu, nebo dřívějšímu opotřebení klínového řemene. Tak bylo zapotřebí vytvořit neprodyšný kryt rozvodu. Kryt byl vytvořen z plastů, které tento rozvod chránily již předtím a dalších podobných plastových kusů, které na něj pasovaly. Všechny plasty byly dohromady slepeny silikonem, kvůli celkové soudržnosti a těsnosti.

### 2.3.17 VSTŘIKOVAČE PALIVA

Tovární vstřikovače paliva nezvládaly dodávat dostatečné množství paliva, proto byly nahrazeny novými s větším dopravním objemem paliva. Nové vstřikovače byly od automobilky Lancia, z automobilu Lancia Integrale 16v. Měly průtok  $550\text{cm}^3/\text{min}$ , oproti původním vstřikovačům, u kterých byl průtok paliva okolo  $140\text{cm}^3/\text{min}$ . Ovšem díky těmto novým vstřikovačům paliva musela být upravena řídicí jednotka.

### 2.3.18 ŘÍDICÍ JEDNOTKA

Původní řídicí jednotka byla nedostačující, protože u upraveného závodního motoru byly použity nové funkce, které starý motor nepotřeboval. Další důvod byly již výše zmíněné vstřikovače paliva, proto byla koupena nová, závodní řídicí jednotka značky Magneti Marelli



typu SRA. Řídicí jednotka byla naprogramována přímo pro tento motor, byla do ní nahrána nová palivová mapa a mapa předstihu zapálení paliva. Omezovač otáček byl nastaven na 8500ot/min, dále zde byl naprogramován i startovní omezovač otáček, kdy při stání na startu stačilo zmáčkнуть tlačítko a sešlápnout plynový pedál na plno a motor byl udržován na 7000ot/min. V řídicí jednotce byla dále naprogramována funkce odstávky paliva. Princip této funkce spočíval v tom, že řidič vozidla nemusel vůbec sundávat nohu z plynového pedálu. Funkce se aktivovala, když byl vyřazen rychlostní stupeň, poté jednotka sama odstavila dodávku paliva přes vstřikovače do spalovacího prostoru a jakmile byl zařazen nový převodový stupeň, tak vstřikovače opět normálně dopravovaly palivo do válce.

## 2.4 POPIS UPRAVENÉHO SPALOVACÍHO MOTORU

Po všech těchto úpravách zde byl motor, který se od toho původního hodně odlišoval. Bylo provedeno mnoho změn, s hlavním důrazem na zvýšení výkonu a kroutícího momentu, bez ohledu na jeho spotřebu, nebo jeho dlouhodobější životnost.



*Obr. 20 Motor i s převodovkou namontován na rám automobilu*

Vrtání v bloku motoru bylo zvětšeno na 95mm z původních 87mm, písty byly vyměněny za nové kované o průměru 95mm, původní kované ojnice byly nahrazeny frézovanými s větším zdvihem oproti původním. Sací i výfukové vačkové hřídele byly přebroušeny pro zlepšení dynamiky motoru, k tomuto přispěla i výměna ventilových pružin a odlehčení talířů pružin, které byly vyměněny za hliníkové, z původních ocelových. Díky tomu byly sníženy i setrvační síly rozvodu. Hydraulická zdvihátka byla upravena na mechanická, protože hydraulická zdvihátka nejsou vhodná pro závodní použití. Mazací okruh byl rozšířen o chladič maziva, vodní chladič byl vyměněn za větší se dvěma ventilátory. U sacího potrubí byla provedena největší změna, bylo kompletně předěláno a upraveno, aby bylo lépe použitelné pro závodní účely.



Tyto úpravy dávají motoru objem  $3512\text{cm}^3$ , výkon o hodnotě  $293\text{kW}$  při  $7400\text{ot/min}$  a točivý moment  $430\text{N.m}$  při  $6000\text{ot/min}$  a velké snížení celkové hmotnosti motoru. Oproti původnímu motoru, který měl objem  $2946\text{cm}^3$ , výkon o velikosti  $142\text{kW}$  při  $5500\text{ot/min}$  a točivý moment  $267\text{N.m}$  při  $4000\text{ot/min}$ .

Ovšem takto velký výkon a obsah motoru platí svou daň ohledně paliva, spotřeba motoru činila průměrně až  $100\text{l}$  na  $100\text{km}$ . Výdrž takového vysokootáčkového motoru nebývá nejvyšší. Při závodním nasazení vydržel převážně jen jednu sezónu, potom musel být vyměněn za nový, nebo byla provedena servisní prohlídka a kontrola všech částí motoru. Tato prohlídka odhalila, jestli je motor nějak poškozený a musí být vyměněn za nový, nebo se dá opravit.



*Obr. 21 Motor s odkrytým rozvodem a dvěma částmi sání*



## 3 SIMULACE V ADAMS MD R3

### 3.1 NASTAVENÍ MODELŮ MOTORU PŮVODNÍHO A ZÁVODNÍHO

Software ADAMS MD R3 má ve své databázi již několik přednastavených motorů, včetně motoru V6, který byl použitý pro tuto simulaci. Tento model byl otevřen v Template Builder (Sestavení šablony), v této části bylo na příslušném modelu upraveno vše, co bylo potřeba. Proto zde byly nastaveny rozměry a vlastnosti jednotlivých prvků – viz obrázky 22 až 26.

Engine Global Data Name		.V6_puvodni.V6_puv.ues_v6_data	
Cycle	4-Stroke	Rotation	Clockwise
Number of Banks	2	Bank Layout -->	
Number of Cylinders	6	Cylinder Layout -->	
Stroke	83.5	Bore Diameter	87.0
Axial Cylinder Distance	95.0		
Effective Con Rod Length	153.0		
Thrust Main Bearing No.	3	Crank Layout -->	
Piston Pin Diameter	22.0	Length	56.0
Piston Boss Spacing	25.0		
Total Displacement		2.97 liter	

Obr. 22 Tabulka nastavení bloku motoru – původní nastavení

Engine Global Data Name		.V6_zavodni_2.ues_v6_data	
Reference Frame			
.V6_zavodni_2.ground.cfs_cranktrain_			
Cycle	4-Stroke	Rotation	Clockwise
Number of Banks	2	Bank Layout -->	
Number of Cylinders	6	Cylinder Layout -->	
Stroke	83.0	Bore Diameter	95.0
Axial Cylinder Distance	105.0		
Effective Con Rod Length	158.0		
Thrust Main Bearing No.	3	Crank Layout -->	
Piston Pin Diameter	22.0	Length	55.0
Piston Boss Spacing	25.5		
Total Displacement		3.52 liter	

Obr. 23 Tabulka nastavení bloku motoru – závodní nastavení

V tabulce pro motor byly změněny hodnoty u vrtání, axiální vzdálenost mezi písty, efektivní vzdálenost ojnice, průměr pístního čepu, délka čepu a prostoru mezi kluznými ložisky pístu, kde čep není zasunut v pístu (Piston Boss Spacing). Z těchto hodnot byl určený celkový objem motorů, který je shodný s hodnotami reálných motorů (původní 2,97l a závodní 3,52l). Poté byly u prvků pístu, ojnice a pístního čepu přenastaveny hmotnosti a hodnoty setrvačných momentů, které byly získány ze 3D modelů v softwaru SolidWorks. Poté byly přenastaveny další rozměry u těchto součástí, které definovaly původní a závodní motor.

Piston Pin Name	.V6_zavodni_2.ues_piston_pin_1		
Property File	<input type="checkbox"/> Editable mdirs://private/piston_pins.tbl/fev_0001		
Engine Global Data	.V6_zavodni_2.ues_v6_data		
Piston Pin No.	1		
Outer Diameter	22.0		
Length	55.0		
Inner Diameter	11.0		
Attachment To	<input type="radio"/> Part <input checked="" type="radio"/> Marker		
Coordinate Reference	.V6_zavodni_2.ues_con_rod_1.p.attac		
Inertia Method	<input type="radio"/> Density <input checked="" type="radio"/> User Values		
Mass	9.081E-002		
lxx	45.49545	lyy	45.49545
lzz	7.61519		

Obr. 24 Tabulka pro nastavení pístního čepu

Con Rod Name	.V6_zavodni_2.ues_con_rod_1		
Property File	<input type="checkbox"/> Editable mdirs://private/con_rods.tbl/fev_0001.c		
Engine Global Data	.V6_zavodni_2.ues_v6_data		
Cylinder No.	1		
Big Eye Diameter	50.0	Length	22.0
Small Eye Diameter	22.0	Length	25.5
Big Eye Reference	.V6_zavodni_2.ground.cfs_v6_data_cr		
Small Eye Reference	.V6_zavodni_2.ground.cfs_v6_data_pis		
Inertia Method	<input type="radio"/> Density <input checked="" type="radio"/> User Values		
Mass	525.57		
lxx	3349.82517		
lxy	-1603.69688	lyy	2069.2858
lzx	2.606E-002	lyz	6.21E-003
lzz	5385.27777		
CM Loc. from Big Eye Center	49.5627687581,0.0,0.0		

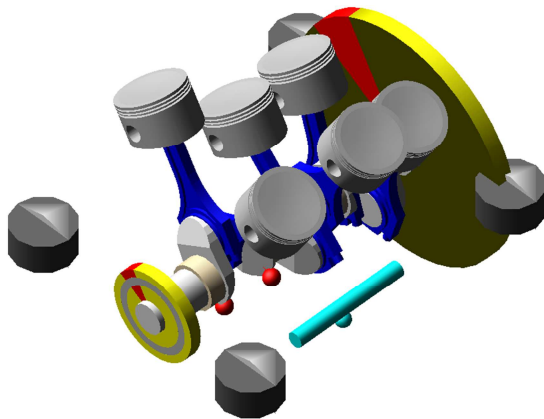
Obr. 25 Tabulka pro nastavení ojnice



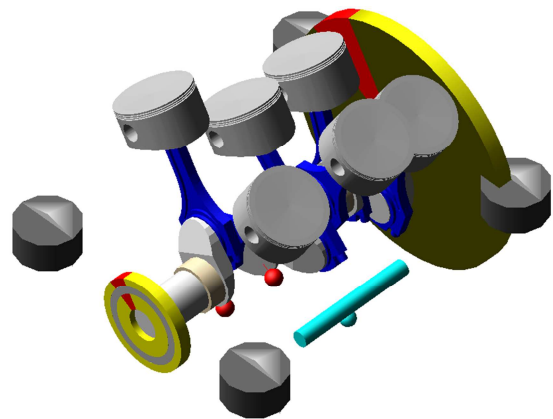


Piston Name	_V6_zavodni_2.ues_piston_1				
Property File <input type="checkbox"/> Editable	muids://private/pistons.tbl/fev_0001.pst				
Piston Marker Reference	_V6_zavodni_2.ground.cfs_v6_data_pis				
Pin Marker Reference	_V6_zavodni_2.ground.cfs_v6_data_pis				
Engine Global Data	_V6_zavodni_2.ues_v6_data				
Piston No.	1				
Piston Head Diameter	95.0				
Piston Pin Diameter	22.0				
Piston Boss Spacing	25.5				
Piston Height	58.0				
Compression Height	33.5				
Inertia Method	<input type="radio"/> Density <input checked="" type="radio"/> User Values				
Mass	0.3825				
lxx	323.57454				
lxy	3.77E-003	lyy	463.5466		
lzx	1.31E-003	lyz	0.16315	lzz	308.33962
CM Location Relative to Part	-7.306931E-004,4.052173E-004,10.4				

Obr. 26 Tabulka pro nastavení pístu



Obr. 27 Model v ADAMS původního motoru



Obr. 28 Model v ADAMS závodního motoru

### 3.2 PŘÍPRAVA SIMULACE V ADAMS MD R3

Po nastavení modelů v Template Builder byl vytvořený model otevřen ve standartním rozhraní jako subsystem, který sloužil k přenastavení jen pár základních parametrů, na rozdíl od Template Builder byl subsystem omezenější. Ze subsystemu byla vytvořena General Assembly (hlavní sestava), ke které byl připojen Test Rig (zkušební zařízení) – virtuální brzda, která byla použita z databáze ADAMS. Před zahájením simulace byla ještě změněna chyba iteračního řešení a změněn numerický solver z GSTIFF na HHT, kdy byla chyba zmenšena o tři desetinná místa.

Category	Dynamics
Model	.V6_zavodni
Integrator	GSTIFF
Formulation	SI2
Corrector	<input checked="" type="radio"/> Original <input type="radio"/> Modified
Error	1.0E-002
Hmax	(none)

Obr. 29 Tabulka nastavení numerického solveru před opravou

Category	Dynamics
Model	.V6_zavodni
Integrator	HHT
Formulation	I3
Corrector	<input checked="" type="radio"/> Original <input type="radio"/> Modified
Error	1.0E-005
Hmax	(none)

Obr. 30 Tabulka nastavení numerického solveru po opravě



Po změně iteračního řešení a numerického solveru byla ještě přenastavena virtuální brzda, kde byl upraven počet spojení pružných spojek. Ze základu byla dvě spojení, pro tento pokus stačilo pouze jedno. Dále byla pozměněna tuhost spojky a její tlumení, nastavení bylo stejné jak u původní verze motoru, tak i u závodní, aby výsledky z vyhodnocení simulace měly stejný základ.

Crank Train Assembly		V6_zavodni	
Rotation Direction		Inherit (Clockwise)	
Number of Connectors		0 1 2 3 4	
Inertia	Crankshaft	Stiffness	Damping
		1.0E+006	55.0
	Applied Rotation		

Obr. 31 Tabulka nastavení Test-Rig (virtuální brzdy)

### 3.3 ZAHÁJENÍ SIMULACE V ADAMS MD R3

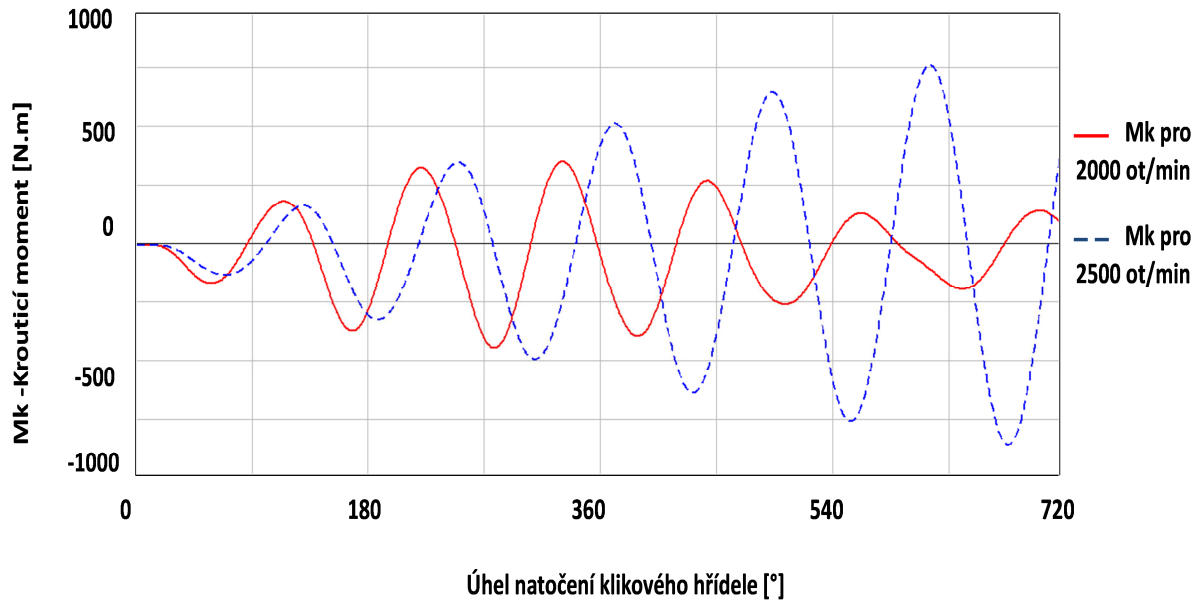
Po předefinování předchozího nastavení bylo přistoupeno k simulaci, tzv. Steady-State Analysis (Analýza v ustáleném stavu), kde byl nastaven počet kroků a cyklů pro spektrum otáček, počet kroků byl zvolen 720, podle počtu cyklů, ten byl 1, tedy 2 otáčky klikové hřídele, protože se jednalo o čtyřdobý motor. Díky takovému počtu kroků vycházel 1° natočení klikové hřídele na 1 krok. Dále bylo zvoleno spektrum otáček, pro které měla být simulace provedena, tedy od 2000ot/min – 6000ot/min s krokem 500ot/min. Kdyby byla ve výsledcích simulace nějaká nevhodná část k vyhodnocování, třeba při problémech u rozběhu motoru. Mohla by být použita položka Transient Phase (Přechodná fáze), kde by určitá část kroků mohla být přeskočena, nebo i celé cykly, v tomto případě problém nenastal, tak nebyla Transient Phase použita.

Crank Train Assembly	V6_zavodni
Output Prefix	V6_zavodni_2C
Number of Steps	720
Mode of Simulation	interactive
Number of Cycles	1.0 2.0 Revolution(s)
<input checked="" type="radio"/> List of Rpm(s) <input type="radio"/> Calculate Rpm(s)	
Crankshaft Rpm(s)	2000,2500,3000,3500,4000,4500
Rotation Direction	Inherit (Clockwise) Modify...
<input type="checkbox"/> Perform Linear Analysis	
<input checked="" type="checkbox"/> Static Analysis <input checked="" type="radio"/> nodamping <input type="radio"/> damping	
Linear Cycle	
<input type="checkbox"/> Transient Phase	
Transient Steps	
Transient Cycles	
<input checked="" type="checkbox"/> Initial Static Equilibrium	
<input checked="" type="checkbox"/> Enable Dynamic Funneling	
<input checked="" type="checkbox"/> Load Analysis Results	

Obr. 32 Tabulka nastavení Steady-State Analysis



Po provedení simulace byly výsledky dále zpracovány v Postprocessing Window (Okno následného zpracování), kde bylo možno prohlížet naměřená data ve formě grafů. Posléze zde byly vytvořeny grafy s krouticím momentem v závislosti na natočení klikové hřídele, pro příslušné spektrum otáček, z těchto grafů byla vyčtena hodnota středního krouticího momentu.



Obrázek 33 Ukázka grafu ze softwaru ADAMS v Postprocessing Window, momentová charakteristika pro 2000ot/min a 2500ot/min, závodní motor

### 3.4 VYHODNOCENÍ ZÍSKANÝCH DAT

Z vyčtených hodnot středních krouticích momentů pro celé spektrum otáček od 2000ot/min do 6000ot/min, byly vytvořeny dvě tabulky pro původní a závodní motor. S těmito hodnotami byla vypočítána úhlová rychlost, potřebná pro výpočet výkonu a poté i výkon samotný.

Tabulka 1 Výsledky hodnot pro původní motor

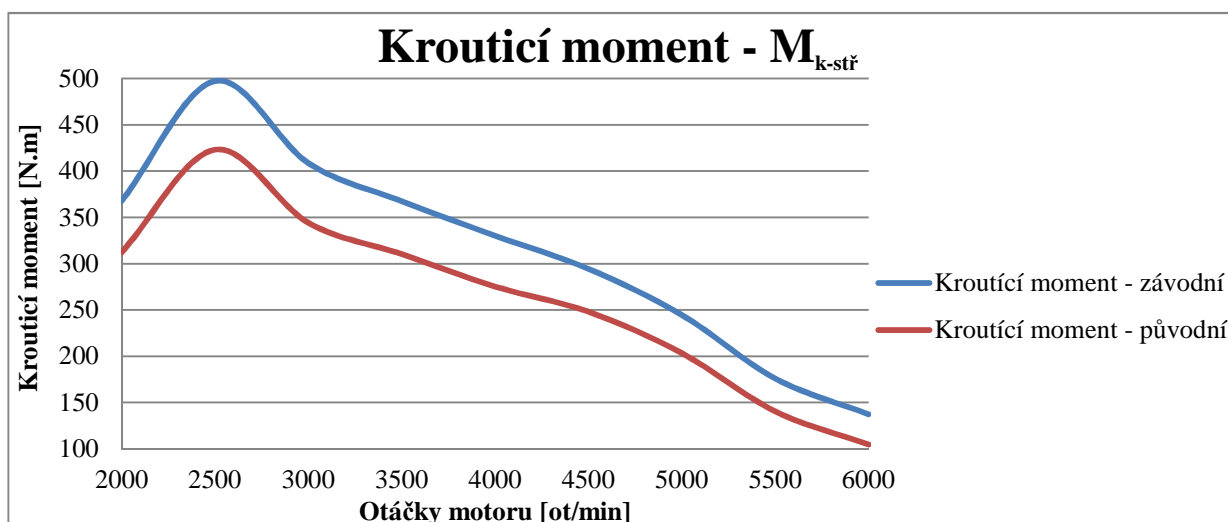
Otáčky - $n$ [ot/min]	Krouticí moment - $M_{k-stř}$ [N.m]	Úhlová rychlost - $\omega$ [s <sup>-1</sup> ]	výkon - $P$ [kW]
2000	312,29	209,43	65,40
2500	423,2	261,79	110,79
3000	344,1	314,15	108,1
3500	310,31	366,51	113,73
4000	275,18	418,87	115,26
4500	247,95	471,23	116,84
5000	203,19	523,58	106,39
5500	140,32	575,94	80,82
6000	104,48	628,30	65,64



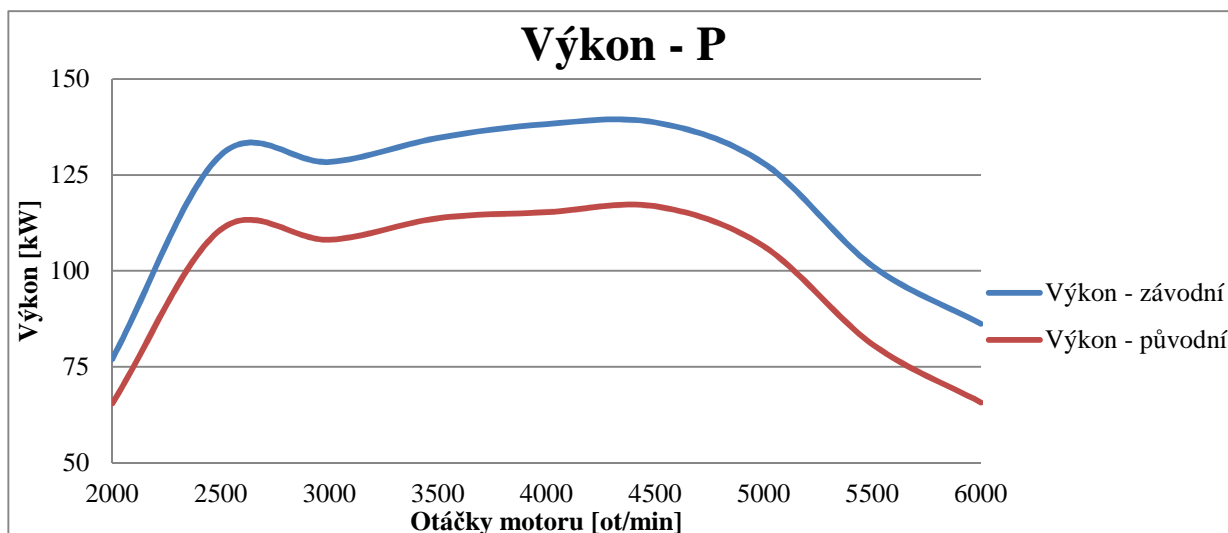
Tabulka 2 Výsledky hodnot pro závodní motor

Otáčky - $n$ [ot/min]	Krouticí moment - $M_{k-stř}$ [N.m]	Úhlová rychlost - $\omega$ [s <sup>-1</sup> ]	výkon - $P$ [kW]
2000	367,69	209,43	77,01
2500	497,38	261,79	130,21
3000	408,63	314,15	128,37
3500	367,42	366,51	134,66
4000	330,13	418,87	138,28
4500	294,35	471,23	138,71
5000	244,35	523,58	128,03
5500	175,82	575,94	101,26
6000	137,16	628,30	86,18

Hodnoty středních krouticích momentů získaných ze simulace a vypočítané výkony byly zaneseny do grafů, pro porovnání původního i závodního motoru.



Obr. 34 Graf momentové charakteristiky závodního a původního motoru



Obr. 35 Graf výkonové charakteristiky závodního a původního motoru



### 3.5 ZHODNOCENÍ A POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ

Výsledky charakteristik nejsou až tak překvapující, samozřejmě že závodní motor je lepší, než původní. Jinak by nemělo smysl tyto úpravy provádět. Ze softwaru ADAMS MD R3 byly naměřeny hodnoty středního krouticího momentu pro oba motory, které byly následně zaneseny do tabulky. Z těchto hodnot byl poté vypočten výkon pro závodní i původní sestavení motorů.

Naměřený střední krouticí moment má vrchol v obou případech v 2500ot/min, pro závodní motor byl získán  $M_{k-stř} = 497,38\text{N.m}$  a pro původní  $M_{k-stř} = 423,2\text{N.m}$ . Výkony jsou na tom podobně v tom, že jejich vrchol je při stejných otáčkách, ale až v 4500ot/min, pro obě sestavy. Pro závodní je hodnota výkonu  $P = 138,71\text{kW}$  a u původního hodnota dosahuje výkonu  $P = 116,84\text{kW}$ . Tyto naměřené hodnoty nejspíš nejsou maximální a to z toho důvodu, že charakteristika středního krouticího momentu byla prováděna pro spektrum otáček od 2000ot/min do 6000ot/min s krokem 500ot/min. Ovšem nalezení maximálního krouticího momentu a výkonu nebylo cílem. Cílem bylo pouze porovnání úprav závodního motoru s motorem původním a rozdíl výkonu mezi těmito motory.

V případě simulace není mezi vytvořenými motory takový rozdíl, zde je v řádu desítek N.m a kW, pro krouticí moment je to 74,18N.m a pro výkon 21,87kW. Oproti tomu reálné motory mají rozdíly hodnot v rámci stovek N.m a kW pro krouticí moment je to 163N.m u výkonu je tato hodnota podobná a to 151kW. Takto malé rozdíly u virtuálních motorů jsou zapříčiněné tím, že se v podstatě porovnává jen úprava objemu motoru, proto vypadají i charakteristiky hodně podobné, akorát závodní má vyšší hodnoty díky úpravě spalovacího prostoru. Spalovací tlaky reálných motorů, které by mohly dále ovlivnit simulaci a výsledné charakteristiky, nebyly známe, proto byly použity spalovací tlaky, které byly uloženy v databázi softwaru ADAMS MD R3.

Dále jsou rozdíly ovlivněné i tím, že naměřené a vypočtené hodnoty ze simulace nejsou maximální, jak bylo zmíněno výše. Na rozdíl od toho naměřené hodnoty reálných motorů jsou maximální, proto jsou hodnoty výkonu a momentu naměřeny v jiných otáčkách pro oba reálné motory, než jak tomu bylo v simulaci, to je zapříčiněno jiným laděním každého motoru. Reálný neupravený motor má maximální moment při 4000ot/min a výkon při 5500ot/min. Oproti tomu závodní motor má tyto maxima posunuta zhruba o 2000ot/min, pro maximální moment je to v 6000ot/min a pro výkon v 7400ot/min.

Na reálném závodním motoru bylo provedeno mnohem více úprav, než se kterými bylo vstupováno do simulace, které by dále ovlivnily jeho celkový výkon. Pro tuto simulaci bylo měněno jen pár základních prvků, parametry bloku motoru, váha, rozměry a příslušné momenty setrvačnosti pro píst, ojnicí a čep, tyto momenty však ovlivňují motor jen při rozběhu, protože jsme měřily hodnoty v ustáleném stavu. Ovšem už i tyto vstupní parametry ovlivnily výsledky simulace v dostatečné míře, tím pádem lze vyvodit závěr, že úpravy tohoto typu přinesou žádané zvýšení výkonu. Tyto výsledky potvrdily to, že provedené úpravy měly smysl.



## ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo provést rešerši o úpravách motoru pro speciál Xbuggy, dále 3D modelaci určitých komponent pro získání momentů setrvačnosti, následovanou simulací v softwaru ADAMS pro potvrzení toho, že tyto provedené úpravy měly přínos ke zvýšení výkonu motoru, což bylo potvrzeno. Oba motory měly maximální hodnotu středního krouticího momentu v 2500ot/min u výkonu to bylo v 4500ot/min. Závodní motor měl krouticí moment roven 497,38N.m tedy o 74,18N.m více než motor původní a výkon o hodnotě 138,71kW to je o 21,87kW více než u původního motoru.

Projekt Xbuggy byl vymyšlen a realizován hlavně proto, aby k autokrosu byli přilákáni další lidé a tím i peníze. Lidé by si tak mohli zkusit zažít jízdu v podobném vozidle, které jezdí skutečné závody. Úspěch tohoto projektu byl velký, ale ne jak bylo očekáváno. Je možné, že to bylo způsobeno i tím, že lidé dávají přednost koupi voucheru na jízdu v nějakém supersportovním voze, místo tohoto speciálu. Taková vozidla jim bývají bližší než jízda v bugině. Dalším problémem bylo, že propagování tohoto speciálu nebylo tak obsáhlé, tím pádem, se o něm nedozvědělo mnoho nových lidí.

Ovšem i přesto je projekt stále v provozu a funguje nadále, při závodech v Humpolci. V mezích je možné se mezi jednotlivými závody nechat svézt, či při výročním srazu mistrů v autokrosu, nebo se dá zařídit i firemní akce.

Některé vyráběné části, které byly použity v simulaci, v tomto případě píst, ojnice a pístní čep byly vyrobeny specializovanou firmou, která se takovou výrobou zabývá. Tím pádem tyto prvky nemusely být kontrolovány z hlediska pevnosti, což pomohlo k ušetření nákladů za výrobu.

Kdyby bylo potřeba další zvýšení výkonu pomocí již upravených částí, tak by to mohlo být provedeno tak, že by patřičné komponenty byly vymodelované a zkontrolované v MKP (metoda konečných prvků) například v softwaru ANSYS, kde by bylo zjištěno, jak moc by mohly být jednotlivé prvky odlehčeny, než by došlo k jejich porušení a destrukci motoru.

Další možné zvýšení výkonu by mohlo být provedeno novou úpravou. Například předěláním atmosferického motoru na motor přepřínovaný pomocí turbodmychadla, nebo kompresoru. Jako další vylepšení by mohlo být zvětšení sacích a výfukových ventilů, ale u této úpravy by muselo být myšleno na fakt, že by byla snížena vzdálenost mezi ventily a mohlo by dojít k prasknutí hlavy válců.



## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] MACKERLE, J. *Motory závodních automobilů*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1980, 193, [1] s. Řada strojírenské literatury.
- [2] HILLIER, V. A. W. *Hillier's fundamentals of motor vehicle technology*. 6th ed. Cheltenham: Nelson Thornes, 2011. ISBN 9781408515181.
- [3] *TUNING-INDIVIDUAL.cz* [online]. 2011. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://tuning-individual.cz>
- [4] *Car News and Reviews in Malaysia: Paul Tan's Automotive News* [online]. 2005. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://paultan.org>
- [5] *Autodíly Mjauto: náhradní díly na vozy evropské i japonské / asijské výroby* [online]. [2015]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.mjauto.cz>
- [6] *Autoweb France: Fiches techniques et essais* [online]. 2002. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.autoweb-france.com>
- [7] *ŠKODA tech web: vše o Škodovkách* [online]. 2004. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://skoda.panda.cz>
- [8] *Autokrosar.cz: Internetový zpravodaj o dění v autocrosu* [online]. [2013]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.autokrosar.cz>
- [9] *Autocrossitalia* [online]. 2002. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.autocrossitalia.it>
- [10] *Petrila* [online]. 2013 [cit. 2015-05-23]. Dostupné z: <http://petrila.org>
- [11] *Cars Pics Database: The most complete database of cars* [online]. 2014 [cit. 2015-05-23]. Dostupné z: <http://prettycarz.com>
- [12] *Xbuggy* [online]. 2012 [cit. 2015-05-23]. Dostupné z: <http://www.xbuggy.cz>



## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

$M_{k-stř}$	[N.m]	střední hodnota krouticího momentu
$n$	[ot/min]	otáčky motoru
$P$	[kW]	výkon motoru
$\varepsilon$	[-]	kompresní poměr
$\omega$	[s <sup>-1</sup> ]	úhlová rychlost otáčení klikového hřídele