



**FAKULTA  
STROJNÍ  
ČVUT V PRAZE**

Ústav automobilů, spalovacích motorů  
a kolejových vozidel

Studie vlivu proměnné délky sacího potrubí  
na dynamické vlastnosti vozu Formule  
Student.

A study of variable intake manifold length  
effect on the dynamic properties of a  
Formula Student car.

**DIPLOMOVÁ PRÁCE  
2022**

**Bc. Matyáš Kajsrlík**

Studijní program: (NDTT) Dopravní a transportní technika

Studijní obor: (N071TSPM) Spalovací motory

Vedoucí práce: Ing. Libor Červenka, Ph.D.



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kajsrlík** Jméno: **Matyáš** Osobní číslo: **465332**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel**  
Studijní program: **Dopravní a transportní technika**  
Specializace: **Spalovací motory**

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Studie vlivu proměnné délky sacího potrubí na dynamické vlastnosti vozu Formule Student.**

Název diplomové práce anglicky:

**A study of variable intake manifold length effect on the dynamic properties of a Formula Student car.**

Pokyny pro vypracování:

Proveďte studii variabilního sání vozu formule student z hlediska celkového přínosu v soutěži. Pomocí simulace matematického modelu vozidla na definované závodní trati stanovte přínos proměnné délky potrubí na celkový čas. Při návrhu zohledněte různé konstrukční možnosti, jak plně variabilní sání, tak přepínání různých délek potrubí. Jako hodnotící kritéria uvažujte i reálné rychlosti změny délky potrubí, hmotnost použitých komponent a případně další vhodné parametry.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

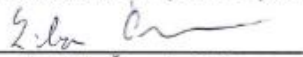
**Ing. Libor Červenka, Ph.D. ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel FS**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **20.04.2022**

Termín odevzdání diplomové práce: **13.07.2022**

Platnost zadání diplomové práce:

  
Ing. Libor Červenka, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce


  
doc. Ing. Oldřich Vitek, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

  
doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.  
podpis děkana(ky)

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

25.4  
Datum převzetí zadání

  
Podpis studenta



## Anotační záznam

Jméno autora: Bc. Matyáš Kajsrlík

Název práce: Studie vlivu proměnné délky sacího potrubí na dynamické vlastnosti vozu Formule Student.

Anglický název: A study of variable intake manifold length effect on the dynamic properties of a Formula Student car.

Rozsah práce: 69 stran  
46 obrázků  
10 stran příloh ve formátu PDF

Akademický rok: 2021/2022

Ústav: 12 120 Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel

Studijní program: (NDTT) Dopravní a transportní technika

Vedoucí práce: Ing. Libor Červenka Ph.D.

Klíčová slova: Formula Student, Sací ústrojí motoru, Variabilní sací trakt, Proměnlivá délka sacích kanálů, Sání motoru

Key words: Formula Student, Engine intake system, Variable intake tract, Variable length intake channels, Engine intake



## Abstrakt

Tématem diplomové práce je studie variabilních sacích systémů a návrh pro použití do soutěže Formula Student. Sací trakt musí odolat tvrdým podmínkám soutěže a taktéž zlepšovat parametry monopostu. Sací systém musí být také navrhnout pro výrobu v útrokách dílen týmu CTU Cartech. V práci jsou popsána rozhodnutí a výsledky simulací, jež vedly k finálnímu produktu. Produkt je navrhnout na co nejnižší hmotnost a výkonnost. Práce obsahuje také seznámení s pohonnou jednotkou monopostu a rešerši sacích systémů.

## Abstract

The topic of the diploma thesis is the study of variable intake systems and a proposal for use in the Formula Student competition. The intake tract must withstand the harsh conditions of the competition and also improve the parameters of the vehicle. The intake system must also be designed for production in the workshop of the CTU Cartech team. The work describes the decisions and simulation results that led to the final product. The product is designed for the lowest possible weight and performance. The work also includes an introduction to the vehicle drive unit and a search for intake systems.



## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: “ Studie vlivu proměnné délky sacího potrubí na dynamické vlastnosti vozu Formule Student ” vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu zdrojů, jenž tvoří poslední kapitolu této práce.

V Praze dne: 11.7.2022

.....

(podpis autora)



## Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé práce Ing. Liboru Červenkovi, Ph.D. za vedení práce a velmi zdvořilému přístupu se spoustou cenných rad a odpovědí na mé připomínky.

Taktéž bych chtěl poděkovat mé rodině za možnost studia a podporu.

V poslední řadě chci poděkovat týmu CTU Cartech z důvodu možnosti diplomové práce a mému kolegovi Bc. Davidu Hofmanovi za cenné rady.



## Seznam použitých veličin

$V_z$	$[m^3];$	Zdvihový objem válce
$V_c$	$[m^3]$	Kompresní objem
$M_t$	$[Nm]$	Točivý moment
$b$	$[m]$	Vzdálenost
$F$	$[N]$	Síla
$P_e$	$[W]$	Efektivní výkon
$n$	$[1/min]$	Otáčky
$l_v$	$[-]$	Počet válců
$l_p$	$[-]$	Činnost motoru
$p_e$	$[Pa]$	Efektivní tlak
$\tau$	$[-]$	2 dobý či 4 dobý motor
$V_i$	$[-]$	Řád harmonické budící frekvence
$P_i$	$[Pa]$	Indikovaný tlak
$P$	$[Pa]$	Okamžitý tlak
$dV$	$[m^3]$	Změna objemu
$\lambda$	$[m]$	Vlnová délka stojatých kmitů
$a$	$[m/s]$	Rychlost zvuku
$f$	$[Hz]$	Budící frekvence motoru
$n_t$	$[-]$	Tepelná účinnost
$r$	$[J/kg \cdot K]$	Měrná plynová konstanta
$T$	$[K]$	Teplota vzduchu
$Q_o$	$[J]$	Teplo odvedené
$Q_p$	$[J]$	Teplo přivedené
$n_m$	$[-]$	Mechanická účinnost
$M_i$	$[Nm]$	Indikovaný moment
$n_p$	$[-]$	Plnicí účinnost
$m_s$	$[kg]$	Hmotnost směsi
$m_t$	$[kg]$	Maximální teoretická hmotnost
$a$	$[m/s]$	Rychlost zvuku
$f$	$[Hz]$	Budící frekvence motoru
$r$	$[J/kg \cdot K]$	Měrná tepelná konstanta
$L$	$[m]$	Délka sacího kanálu
$K$	$[-]$	Faktor zakřivení
$\Lambda$	$[m]$	Vlnová délka stojatých kmitů



## Obsah

1. Úvod .....	9
2. Formula Student.....	11
2.1 Soutěž Formula Student .....	11
2.2 Disciplíny Formula Student.....	12
2.3 CTU Cartech .....	13
2.4 Pravidla sacího ústrojí a motorové jednotky soutěže Formula Student .....	14
3. Motor monopostu CTU cartech .....	16
3.1 Spalovací motor .....	16
3.2 Úpravy motoru Yamaha R6 .....	17
4. Základní motorové parametry .....	19
4.1 Kompresní poměr .....	19
4.2 Točivý moment motoru .....	20
4.3 Výkon motoru .....	21
4.4 Střední efektivní tlak motoru .....	21
4.5 Střední indikovaný tlak .....	22
4.6 Účinnosti motoru.....	22
4.6.1 Tepelná účinnost motoru .....	22
4.6.2 Mechanická účinnost motoru.....	23
4.6.3 Plnicí účinnost.....	23
5. Dynamické přeplňování.....	24
6. Sací soustavy používané v soutěži Formula student.....	26
7. Druhy variabilních sacích systémů .....	29
7.1 Plně variabilní sací trakt.....	29
7.2 Několika stupňový sací trakt.....	30
8. Stávající řešení sacího traktu monopostu .....	33
9. Model GT-power motoru CTU cartech .....	35
10. Srovnávací model .....	36
10.1 Porovnávací model v GT-SUITE .....	37
10.2 Segmenty a data .....	37
10.3 Nastavení pohonné jednotky .....	39





10.4 Nastavení převodového ústrojí .....	42
10.5 Nastavení vozu.....	43
10.6 Nastavení řidiče a řídicí jednotky .....	44
10.7 Optimalizace modelu.....	45
10.8 Výsledky z modelu .....	49
10.9 Výsledky z modelu v porovnání sacího ústrojí .....	50
10.10 Reálný dopad na výsledky v závodech .....	52
11. Sací ústrojí.....	53
11.1 Základní parametry traktu.....	53
11.2 Pohon variability sacího traktu .....	53
11.3 Škrtkovací klapka a vstupní ústrojí do pléna .....	55
11.4 Vstřikovací systém .....	56
11.5 Sací kanály s nátrubky .....	57
11.6 Sací plénium .....	59
11.7 Zalaminované a vlepené příruby .....	61
11.8 Výroba.....	62
11.9 Lepené spoje a jejich pevnost .....	63
11.10 Cenové a hmotnostní srovnání.....	64
12. Závěr .....	66
13. Použitá literatura .....	67
14. Seznam obrázků.....	69
15. Seznam příloh .....	70



## 1. Úvod

Píše se rok 1886 a Karl Benz žádá o patent na spalovací motor zabudovaný do tříkolového vozu. Průlomový nápad měl nahradit pohon pomocí užití zvířat a dát tak cestování nový směr. Dnes však jsou spalovací motory velmi známé a rozšířené, i když jsou tu lidé s názorem, že spalovací motor není řešení budoucnosti. Je však zřejmé, že s problematikou spalovacích motorů se budeme potýkat ještě spoustu let.

V dnešní době se svět spalovacích motorů, hlavně v automobilovém průmyslu, uchyluje k řešením s co největší účinností a co nejmenším emisním zatížením. S tím souvisí celá řada problematik, k nimž nejsme schopni najít jasné řešení.

Tato diplomová práce však pojednává o konstrukci sacího traktu závodního spalovacího motoru. Závodní spalovací motor týmu CTU Cartech však nepodléhá legislativě veřejných automobilů. Jeho cílem není co nejmenší emisní zatížení, poněvadž se jedná o kusovou záležitost a má téměř nulový význam z globálního hlediska. Konstrukce závodního motoru závisí hlavně na výkonových parametrech. Dimenzování spalovacího motoru se řídí pravidly celosvětového šampionátu Formula Student. Pravidla Formula Student jsou zejména stanovena s ohledem na bezpečnost na trati závodního okruhu. Také stanovují základní parametry vozu tak, aby byly monoposty jednotné až podobné a zároveň zde byla možnost vývoje.

Tato diplomová práce se bude snažit co nejvíce přiblížit problematiku sacího traktu atmosférického spalovacího motoru CTU Cartech s ohledem na pravidla v soutěži Formula Student. Stávající problematika je také podpořena jednoduchými výpočty, podle nichž určíme základní parametry sacích kanálů.

Práce se věnuje i různým řešením variabilních sacích traktů závodních motorů a jejich přínos či aplikaci.

Další segment této práce se věnuje nejlepšímu řešení z možných sacích soustav. Z důvodu zhodnocení přínosu sacího traktu byl sestaven matematický model na definovaném závodním okruhu. V tomto modelu jsme schopni zanalyzovat přínos pomocí ušetřeného času na kolo. Parametry do tohoto modelu získáme matematickým modelem závodního motoru. Dále jsme schopni měnit různé parametry podle potřeby a výsledky pak aplikovat v modelu závodní trati, kde je vypočten jasný ušetřený čas.



V práci je také zvoleno nejlepší řešení pro závodní aplikaci monopostu. Zhotoven je 3D model v tvůrčím CADu Catia V5, v němž jsme schopni si komponentu navrhnout a modifikovat, aby vyhovovala všem konstrukčním rozměrům v závislosti na ostatních komponentech monopostu teamu CTU Cartech. V další části je vyhotovena použitá technologie a způsob výroby celého sacího traktu.



## 2. Formula Student

### 2.1 Soutěž Formula Student

Počátky Formula Student (Formula SAE) se datují do roku 1981, kdy tato konstrukční soutěž vzniká v USA a je určena pro studenty vysokých škol, jež mají strojírenské zaměření. Rok 1998 se uvádí jako počátek evropské odnože soutěže, kdy se začíná propojovat svět šampionátu Formula Student s Formula SAE s jednotnými pravidly. Pod záštitou Formula Student se dnes odehrává 12 soutěží po celém světě, kde má šanci uspět více než 500 monopostů různých univerzitních týmů.

Hlavní úkol Formula Student spočívá v konstrukčních řešeních monopostů tak, jako by tento úkol zadala výrobní firma. Monopost se hodnotí z pohledu fiktivního výběrového řízení, přičemž konečný kupující, který by si měl opatřit toto vozidlo, je občasný závodní laik. Monopost by měl být určen na autokrosovou trať nebo na sprintové zrychlení. Z tohoto faktoru vyplývá, že by měl být vůz velmi rychlý a hbitý, měl by také disponovat vysokými výkonovými parametry. Taktéž by měl být velmi dobře ovladatelný a hlavně bezpečný. Neméně důležitý parametr je taktéž cena, přičemž samozřejmě co nejnižší cena prospívá k bodovému ohodnocení. Monopost musí být dobře udržovatelný. Z tohoto důvodu by mělo být použito co nejvíce součástí z automobilového trhu, které jsou lehce dosažitelné. Monopost musí být taktéž jednoduchý na použití, aby jej mohl ovládat i udržovat laik. Z důvodu koncového fiktivního zákazníka se také předpokládá estetická úroveň. Fiktivní plán vyrobit 1000 vozů ročně a v soutěži se demonstruje jediný vyvinutý kus. Tento prototyp bude porovnáván ekonomicky, výkonnostně, esteticky, přičemž se pouze vítěz soutěže dočká "výroby". [16] [17] [18]



Obr. 1 Monopost FS.12 [16]



## 2.2 Disciplíny Formula Student

Disciplíny soutěže Formula Student se dělí na dva druhy. Prvním druhem jsou statické disciplíny. Do statických disciplín patří „Cost and Manufacturing Event“. V této disciplíně se prezentuje výroba jednotlivých částí, hlavně jejich finanční náročnost. Každý díl musí být jednotlivě ekonomicky popsán, protože soutěžní komisaři se mohou na jakýkoliv díl zeptat a ve finále vše zhodnotit.

Disciplína určená pro zhodnocení konstrukční dovedností a řešení se jmenuje „Engineering Design Event“. Při této disciplíně kvalifikovaní komisaři posuzují různá konstrukční řešení monopostu. Zajímavá a neobvyklá řešení jsou samozřejmě kladně bodově ohodnocena, avšak pro každou konstrukční úpravu musí být vhodná technická dokumentace a obhájení konstrukčního prvku.

Poslední statická disciplína je „Business Plan Presentation Event“. Zde musí být vypracován plán prodeje monopostů, taktéž marketingová prezentace s úkolem co nejvíce zaujmout cílového zákazníka.

Druhý druh jsou dynamické disciplíny. Mezi dynamické disciplíny patří „Skidpad“. Tato disciplína spočívá ve zdolání trati, která má osmičkový tvar, v co nejkratším čase. Nejdůležitější parametr v této disciplíně je zavěšení a samotné nastavení podvozkové jednotky monopostu. Druhá dynamická disciplína se nazývá „Acceleration Event“. V této disciplíně je hodnotící parametr čas, který je potřebný na zdolání sta metrů od startu z nulové rychlosti. Kritické parametry pro tuto disciplínu jsou výkonnostní parametry motoru, vlastnosti pneumatik, vlastnosti převodového zařízení a hmotnost monopostu.

Disciplína ověřující maximální rychlost na jedno měřené kolo je „Autocross Event“. Tato disciplína také slouží jako kvalifikace na hlavní závod.

Hlavní závod s názvem „Endurance and Efficiency Event“ je disciplína, jež má maximálně možně vyzkoušet spolehlivost a také rychlost vozu. Jedná se o závod na dvacet kol, přičemž se v polovině tohoto závodu musí vyměnit jezdci. Jedním z parametrů této disciplíny je také spotřeba paliva, která se rovněž bodově ohodnocuje.



Ohodnocení výše uvedených disciplín:

Cost and Manufacturing Event: 100 bodů

Engineering Design Event: 150 bodů

Business Plan Presentation Event: 75 bodů

Skidpad: 50 bodů

Acceleration Event: 75 bodů

Autocross Event: 150 bodů

Endurance and Efficiency Event: 350+50 bodů

[10] [16] [17]

### 2.3 CTU Cartech

Tým CTU cartech je aktivním soutěžícím v sérii Formula Student od roku 2009. Tým disponuje padesáti členy. Všichni jsou studenty vysoké školy České vysoké učení technické v Praze, nejvíce však Fakulty strojní. Studenti jsou zodpovědní za chod týmu po finanční stránce, včetně obstarávání sponzorů. Monopost týmu je zcela navržen studenty, každý konstrukční prvek má na starosti jedno z odvětví v týmu. Jedná se o části zavěšení, pohonné, aerodynamické, elektrické a části šasi. Studenti se zde dostávají do kontaktu s věcmi, které se jim budou hodit do budoucího života konstruktéra. Získávají tak cenné zkušenosti jak z teoretického hlediska, tak i z praktického. To je pro studenta velmi přínosné, poněvadž škola mnoho praktických možností nenabízí. Tým vytváří nový monopost každý rok. V prvním roce 2009 to byl monopost jménem FS.01., dnes v útrobách dílen ČVUT vzniká již FS.14. [10] [16] [17] [18]



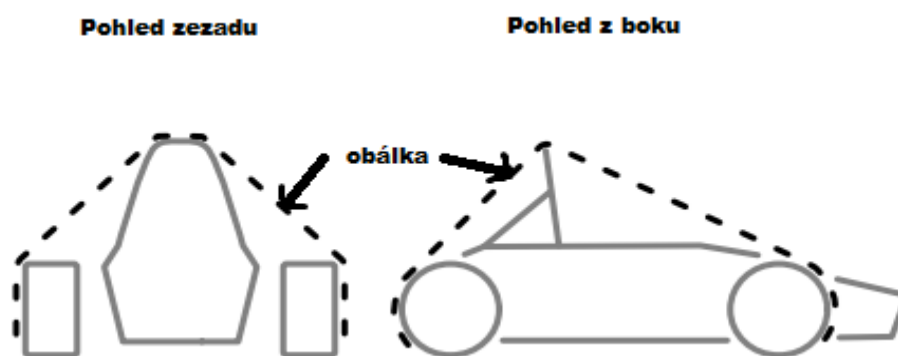
Obr. 2 Tým CTU Cartech po výhře na závodě FSCZ [26]



## 2.4 Pravidla sacího ústrojí a motorové jednotky soutěže Formula Student

Hlavním pravidlem u motoru monopostu Formula Student je skutečnost, že motor musí být pístový čtyřdobý s tepelným cyklem s omezením na zdvihový objem. Ten nesmí přesáhnout  $710\text{cm}^3$ .

Všechny součásti sacího traktu se musí vejít do obálky definované pravidly. Obálka je spojnici mezi vnější obálkou kol a nejvyšším bodem rámu proti převrácení (obr.3).



Obr. 3 Vnější obálka pro sací trakt [10]

Sací trakt musí být pevně přichycen ke spalovacímu motoru šrouby. Spojovací prvky použité na spojení sacího traktu a motoru jsou kritické, to znamená, že musí být pojistné a bránit tak povolení.

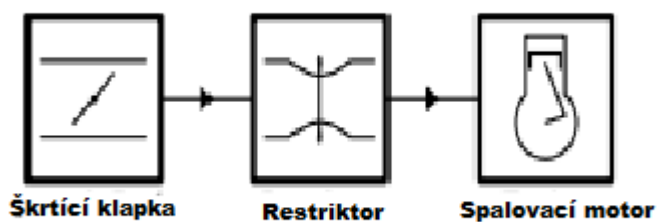
Každá část sacího traktu, která není umístěna 350 mm nad zemí, musí být opatřena prvkem, jenž chrání před bočním nebo zadním nárazem. Sací systémy, které mají významnou hmotnost, musí být podepřeny. Musí se zabránit velkému namáhání sacího traktu. Podpěry přikotvené k šasi by měly být odizolovány z důvodu předejití možnému napětí v důsledku kroucení šasi.

Vozidlo musí být také vybaveno škrtkicí klapkou. Škrtkicí klapka může být jakýchkoliv rozměrů. Mechanismus této klapky musí být chráněn před vniknutím nečistot. Škrtkicí klapka obsahuje dvě vratné pružiny. Každá pružina má klapku vrátit do zavřené polohy tak, aby v případě, že je druhá pružina odpojena, fungovala klapka stejně. Pružina senzoru TPS (senzor pozice plynu) se do těchto pružin nepočítá.

Dalším omezením z hlediska výkonu motoru je restriktor. Restriktor musí být kruhového průřezu o určitém rozměru. Ten se mění v závislosti na použitém palivu. Pro



palivo RON 98 má restriktor průměr 20 mm. Restriktor musí být za škrťací klapkou dle schématu (obr.4). Taktěž nesmí být restriktor pružný či pohyblivý. Restriktorem musí projít všechen vzduch proudící do motoru. Kontrola se provádí ucpáním restriktoru, čímž by měl motor přestat pracovat. [5] [6] [10]



*Obr. 4 schéma umístění restriktoru [10]*





### 3. Motor monopostu CTU cartech

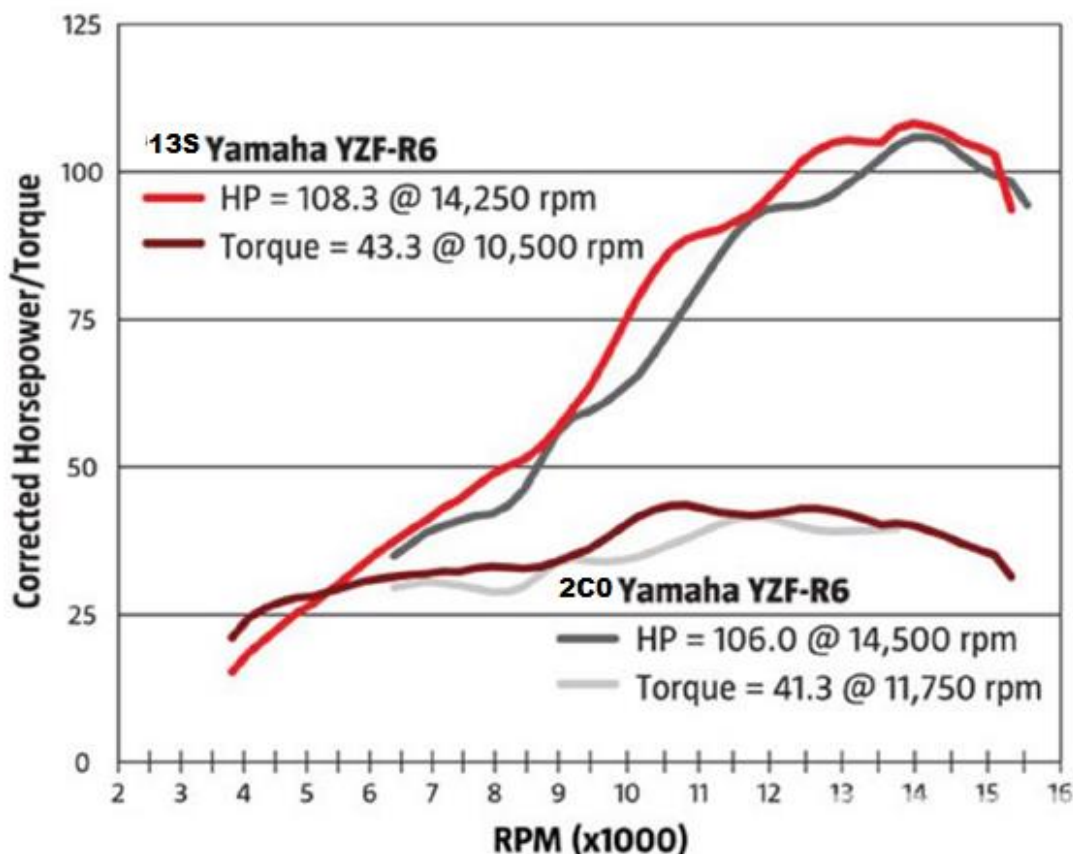
#### 3.1 Spalovací motor

Spalovací motor použitý v monopostu týmu CTU cartech je již tradičně původem ze supersportovního motocyklu YAMAHA R6. Jedná se o čtyřdobý atmosférický motor. Je zde použit systém obsahující čtyři ventily na válec a oddělenou vačku jak pro sací ventily, tak i pro výfukové. Tyto motory se vyráběly od roku 2006 do roku 2016. První použití v monopostu týmu CTU Cartech se datuje hned v první vyrobené formuli v roce 2008. Jednalo se tedy o pouze 2 roky starou koncepci motoru.

Z dnešního hlediska se zdá být motor již zastaralý, avšak s přibývajícím vývojem týmu tomu tak není. Jak již bylo zmíněno, motor pochází ze supersportovního motocyklu. Byl vyvinut tak, aby při vysoké zátěži fungoval velmi dobře a mohl sloužit ke sportovním účelům. Z tohoto důvodu je také přizpůsoben na maximální výkon a přívětivou křivku točivého momentu pro vysoké otáčky. Od roku 2006 byly vyráběny dva typy tohoto motoru. První typ se nazývá 2C0 a druhý 13S. Oba motory jsou poměrně skoro identické až na nějaké úpravy pístního uskupení a mírně odlišného kompresního poměru. Motor je osazen velmi kvalitním, dvoupolohovým variabilním sacím traktem, který pomáhá s plněním válce při nízkých i vyšších otáčkách motoru. [4][5][6][7][9][16]

Základní sériové parametry motoru	
<b>Objem</b>	599 cm <sup>3</sup>
<b>Vrtání</b>	67 mm
<b>Zdvih</b>	42,5 mm
<b>Kompresní poměr</b>	12,8
<b>Typ rozvodu</b>	DOHC
<b>Maximální výkon</b>	95 kW
<b>Maximální moment</b>	58 Nm
<b>Chlazení</b>	Vodou
<b>Počet válců</b>	4
<b>Počet ventilů na válec</b>	4

Tabulka 1. základní sériové parametry motoru Yamahy R6



Obr. 5 Rozdílné parametry motorů 2C0 a 13S [9]

### 3.2 Úpravy motoru Yamaha R6

Tým CTU cartech každým rokem zdokonaluje spalovací motor z Yamahy R6 a zvyšuje tak jeho výkonnostní parametry. Tato zdokonalení pomáhají týmu držet se výkonnostně konkurence v soutěži Formula Student v dynamických disciplínách, ale také pomáhají bodovému ohodnocení od komisařů v disciplíně Design Event.

Jedné z prvních úprav se motor dočkal z počátku vývoje, kdy byla vyhodnocena nejlepší možná kombinace rozdílných motorů 2C0 a 13S, a to motoru 2C0 osazeného písty, z motoru 13S. Kompresní poměr byl tímto zvýšen a to z 13,1 : 1 na 13,7 : 1. Tato hodnota se dosáhla taktéž zakázkovým provedením těsnění pod hlavou válců.

Taktéž byla provedena návrhová projekce vačkových hřídelí. Vačkové hřídele se musely na soutěžní motor navrhnout jiné, protože na monopostu je nutné použít restriktor. V něm dochází k aerodynamickému ucpání ve vyšších otáčkách, a proto byly navrženy



vačkové hřídele kolegou Ing. Liborem Tomíčkem. Především se zlepšilo plnění motoru v nižších otáčkách. To pomohlo zvýšit momentové parametry v těchto nižších otáčkách.

Další významnou změnou bylo odebrání velké motocyklové mokré vany. Blok spalovacího motoru byl zespodu vyfrézován a vana byla nahrazena vanou suchou s externím zásobníkem oleje. Toto pomohlo hlavně zástavbovým parametrům. Snížila se hmotnost i těžiště monopostu.

Na spalovací motor bylo také navrhnuté karbonové sací ústrojí od kolegy Ing. Ondřeje Císaře. To bylo modifikováno Ing. Richardem Čepkem. Sací ústrojí se také dočkalo vývoje z hlediska variabilní délky kanálů. Studii provedl Ing. Daniel Terber. Jedná se o soustavu přepínatelného klapkového systému. Tato modifikace se však nedočkala reálného zhotovení.

Pohonná jednotka v sobě ukrývá také převodové ústrojí, které bylo navrhnuté Ing. Michalem Slaným. Nová čtyř-stupňová převodovka pomohla formuli s lepšími dynamickými parametry na závodní trati, poněvadž původní, šesti-stupňová, byla vhodná spíše na velké rychlosti.

Na monopostu je také kompletně navrhnutý výfuk, zoptimalizovaný na co nejmenší spotřebu, ztráty a nízké hlukové parametry. [4][5][6][7][9][16]



## 4. Základní motorové parametry

### 4.1 Kompresní poměr

Základní geometrický parametr motoru je kompresní poměr. Tento parametr není pravidly Formula Student nijak omezen. S rostoucím kompresním poměrem se zvyšuje účinnost motoru (pokud nedochází ke klepání). To je pro tým velmi přínosné. S rostoucí účinností se snižuje spotřeba paliva a ta je v soutěži taktéž bodově ohodnocena. Kompresní poměr však nelze zvyšovat do nekonečna. S rostoucím kompresním poměrem totiž roste náchylnost na detonace, kterým se chceme vyhnout. Záleží samozřejmě na konstrukci spalovacího prostoru. U běžných motorů se kompresní poměr pohybuje okolo 8 až 12.

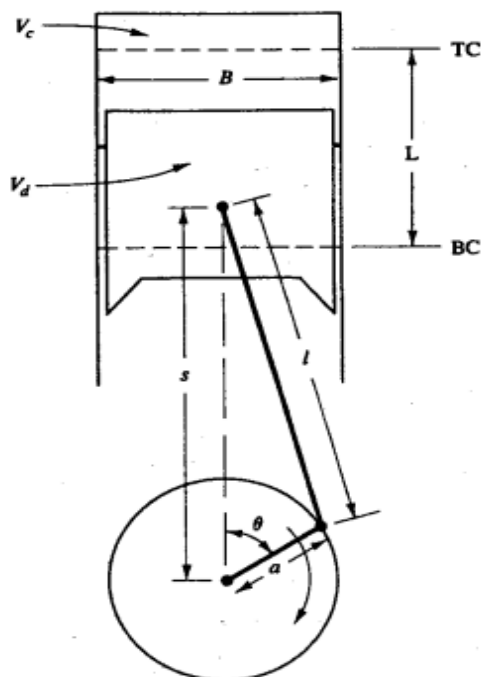
Kompresní poměr CR:

$$CR = \frac{V_z + V_c}{V_c} \quad (1)$$

Kde:

$V_z$  [m<sup>3</sup>] Zdvihový objem válce

$V_c$  [m<sup>3</sup>] Kompresní objem



Obr. 6 schéma klikového mechanismu [1]



Z obrázku 6 a vzorce pro kompresní poměr je patrné, že snížením kompresního objemu se navýší kompresní poměr, musí se však dát pozor, aby při otevření ventilů byla stále mezi pístem a ventilem vůle. B je průměr vrtání, L je zdvih pístu, TC horní úvrať. BC dolní úvrať. [1][2][3][5][11]

#### 4.2 Točivý moment motoru

Točivý moment motoru se nejčastěji měří na dynamometru. Motor musí být připevněn ke stoličce a spojen spojku s dynamometrem. Po uvedení do chodu se měří působící moment na statoru pomocí jeho vychýlení nebo síly pomocí závaží.

$$M_t = Fb \quad (2)$$

Kde:

$M_t$  [Nm] Točivý moment

$b$  [m] Vzdálenost měření síly od statoru

$F$  [N] Síla působící na stator dynamometru

Na motoru je točivý moment závislý na geometrii klikového mechanismu. Taktéž závisí na indikovaném tlaku. Změřené výsledky na dynamometru jsou střední hodnoty. Jednodušší získání točivého momentu je výpočet z efektivního výkonu, kde výkon  $P$  dodávaný dynamometru je součin točivého momentu a úhlové rychlosti. Maximální moment také není nejdůležitější parametr, ale hodně záleží na tom, jaký průběh točivý moment má.

$$M_t = \frac{P_e}{2\pi n} \quad (3)$$

Kde:

$M_t$  [Nm] Točivý moment

$P_e$  [W] Efektivní výkon

$n$  [1/min] otáčky

[1][2][3][5][11]



### 4.3 Výkon motoru

Výkon motoru je spolu s točivým momentem nejzákladnější parametr. Podle tohoto parametru je možné porovnávat jiné spalovací motory mezi sebou. Pokud se motor upravuje, většinou je to právě za účelem zvýšení točivého moment a výkonu. Celkový efektivní výkon závisí na počtu válců motoru, zdvihovém objemu, střednímu efektivnímu tlaku a otáčkách.

$$P_e = \frac{i_v * i_p * V_{z1} * p_e * n}{30 * \tau}$$

(4)

Kde:

$P_e$  [W] Efektivní výkon

$n$  [1/min] otáčky

$i_v$  [-] počet válců

$i_p$  [-] obvykle 1 jako jednočinný motor

$V_{z1}$  [m<sup>3</sup>] zdvihový objem válce

$p_e$  [Pa] efektivní tlak

$\tau$  [-] 2 dvoudobý 4 čtyřdobý motor

Výkon je také možné vypočítat z množství paliva. Výkon je totiž přímo závislý na výhřevnosti paliva, hmotnostního průtoku paliva a celkové účinnosti. Celková účinnost je v tomto případě velmi důležitá, protože předpokládáme, že známe její správnou hodnotu.  
[1][2][3][5]

### 4.4 Střední efektivní tlak motoru

Zatímco točivý moment je měřítkem motoru, který určuje schopnost pracovat. Záleží zde však na objemu. Vhodnějším parametrem, který určuje relativní výkon motoru, je střední efektivní tlak. Střední efektivní tlak, označován také jako BMEP, lze získat odečtením ztrátového středního efektivního tlaku FMEP od indikovaného tlaku IMEP. Je také určen vztahem:

$$p_e = \frac{2 * \pi * M_t}{V_z * i}$$

(5)



Kde:

$p_e$  [Pa] střední efektivní tlak (BMEP)

$M_t$  [Nm] Točivý moment motoru

$V_z$  [m<sup>3</sup>] Zdvihový objem válce

$i$  [-] Taktnost motoru (Pro čtyřtákní motory 0,5)

[1][2][3][5][21]

#### 4.5 Střední indikovaný tlak

Střední indikovaný tlak (IMEP) je hodnota tlaku, která zastupuje skutečný tlak během celého cyklu motoru. V podstatě je IMEP shodný s tlakovou prací a je dán vztahem:

$$p_i = w_v = \frac{\oint p * dV}{V_{z1}}$$

(6)

Kde:

$p_i$  [Pa] Střední indikovaný tlak

$p$  [Pa] Okamžitý tlak válce

$dV$  [m<sup>3</sup>] Změna objemu válce jako funkce natočení kliky  $\alpha$

$V_z$  [m<sup>3</sup>] Zdvihový objem válce

[1][2][3][5][21]

#### 4.6 Účinnosti motoru

##### 4.6.1 Tepelná účinnost motoru

Tepelná účinnost motoru je odvozena z přivedeného tepla v podobě paliva a tepla odvedeného, zde platí vztah:

$$n_t = 1 - \frac{Q_o}{Q_p}$$

(7)

Kde:

$n_t$  [-] tepelná účinnost



$Q_o$  [J] odvedené teplo

$Q_p$  [J] přivedené teplo

#### 4.6.2 Mechanická účinnost motoru

Mechanická účinnost motoru je dána konstrukcí motoru. Tým CTU Cartech ji může ovlivnit jen minimálně drobnými úpravami. Důležitou složkou mechanické účinnosti tvoří také komponenty motoru čerpadla, alternátory a další příslušenství. Mechanická účinnost má vztah:

$$n_m = \frac{M_t}{M_i} \quad (8)$$

Kde:

$n_m$  [-] Mechanická účinnost motoru

$M_t$  [Nm] Točivý moment motoru

$M_i$  [Nm] Indikovaný moment motoru

[1][2][3][5][21]

#### 4.6.3 Plnicí účinnost

Plnicí účinnost nám udává, kolik je dopraveno směsi do válce oproti tomu, kolik je možné mít teoreticky směsi ve válci. Tato účinnost je pro nás klíčová a její zvyšování vede přímo ke zvyšování výkonu motoru. Má vztah:

$$n_p = \frac{m_s}{m_t} \quad (9)$$

Kde:

$n_p$  [-] Plnicí účinnost motoru

$m_s$  [kg] Skutečná hmotnost směsi

$m_t$  [kg] Teoreticky možná hmotnost směsi ve válci

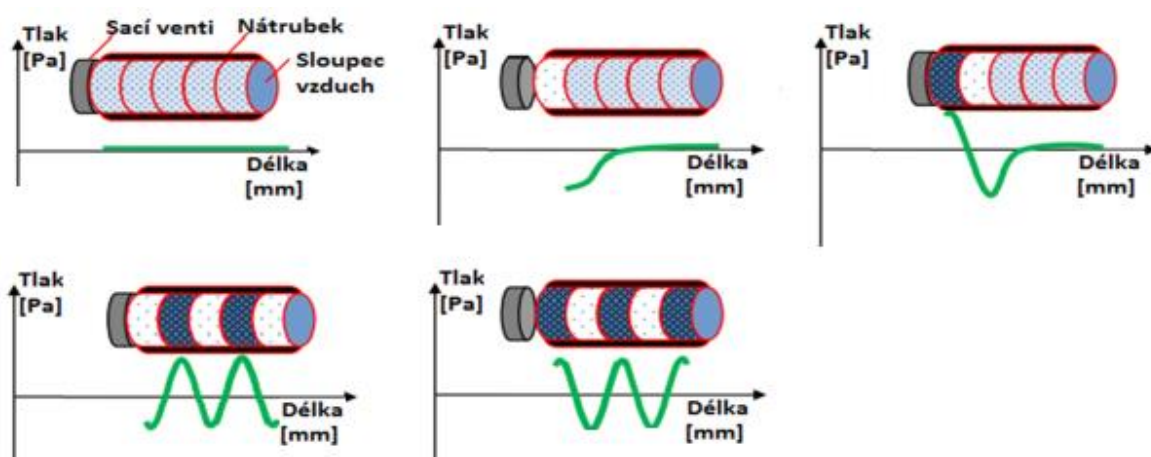
[1][2][3][5][21]





## 5. Dynamické přeplňování

U motorové soustavy můžeme narazit na jev, který se jmenuje rezonanční/dynamické přeplňování. Abychom pochopili problematiku tohoto jevu, musíme znát lineární akustickou teorii. Tento jev se projevuje na sacích kanálech motoru. V momentě, kdy se otevírá ventil válce, dochází pomocí tlakových pulzací ve výfuku k podtlakové vlně. Ta se šíří až na rozhraní sacího kanálu, kde se střetává s rozhraním. Zde se odráží jako sekundární tlaková vlna zpět do sání. Když je sání dobře naladěno, dochází zde v určitých otáčkách k přetlaku u sacího ventilu. Zmíněný přetlak v sacím kanále způsobí lepší naplnění válce. Tato vlna je nejvýhodnější, když dorazí až ke konci cyklu otevření sacího ventilu a dokáže zde tlakem natlačit více vzduchu navíc. Na obrázku můžeme vidět buzení a střídající se tlakové a podtlakové vlny v sacím traktu.



Obr. 7 tlakové vlny v sacím traktu [19]

K lepšímu plnění válce dojde tehdy, pokud harmonická složka kinematického buzení se bude rovnat vlastní frekvenci sacího traktu. Délku sacího traktu můžeme vypočítat pomocí akustické teorie:

$$L = \frac{\lambda}{4} + k \frac{\lambda}{2} \quad (10)$$

Kde:

L [m] Délka sacího kanálu

K [0,1,2] Faktor zakřivení

$\lambda$  [m] Vlnová délka stojatých kmitů

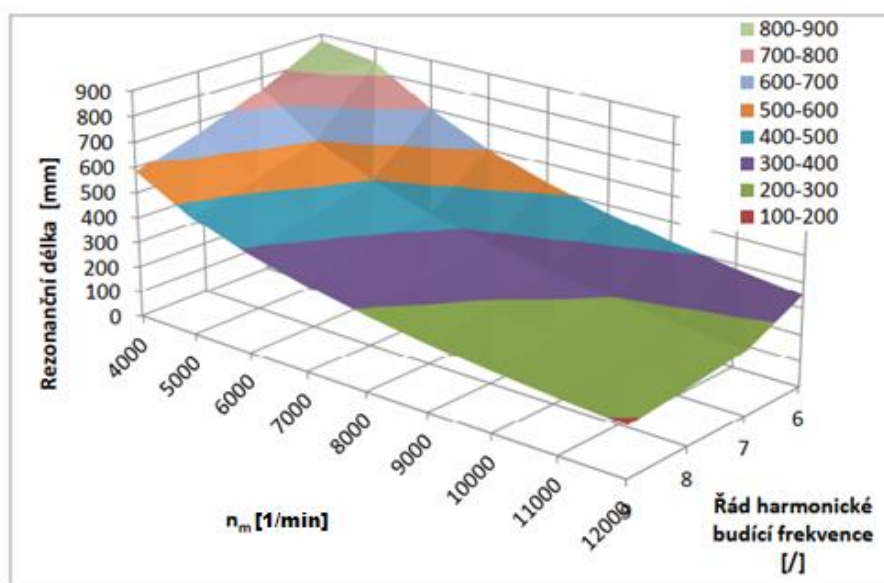


$$\lambda = \frac{a}{f} = \frac{\sqrt{\kappa r T}}{\frac{2}{\tau} \cdot \frac{n_M}{60} \cdot v_i}$$

kde:

- $\lambda$  [m] Vlnová délka stojatých kmitů  
 $a$  [m/s] Rychlost zvuku  
 $f$  [Hz] Budící frekvence motoru  
 $r$  [J/kg\*K] Měrná plynová konstanta  
 $T$  [K] Teplota vzduchu  
 $n_m$  [1/min] Otáčky motoru  
 $V_i$  [-] Řád harmonické budící frekvence  
 $\tau$  [-] Počet zdvihů motoru (4)

Podrobnější studii k tomuto tématu provedl Ing. Ondřej Císař v diplomové práci. Vyhotovil graf, ze kterého vyplývá, že nelze sací trakt ladit na první řády harmonického buzení. Délka sacích kanálů by musela být příliš velká, a to ve Formula Student nelze z důvodu zástavbových rozměrů. Ze studie dále vyplývá, že rezonanční přeplňování lze navodit pouze pro otáčky větší než 6500 1/min z důvodu omezení zástavbové délky kanálu na 320 mm. [1][2][3][5][11][19]



Obr.8 využitelné délky sacích kanálů zhotovené Ing. Ondřejem Císařem [5]



## 6. Sací soustavy používané v soutěži Formula student

V soutěži Formula Student se můžeme setkat s nepřeberným množstvím druhů motorů. Avšak převládají nejvíce jednoválcové, dvouválcové a čtyřválcové motory. Motory jednoválcové jsou většinou přeplňované. Jak už bylo zmíněno, monopost pražského týmu CTU Cartech používá motor čtyřválcový. Tato kapitola se tedy zaměří na druhy sacích traktů čtyřválcových motorů ve Formula Student.

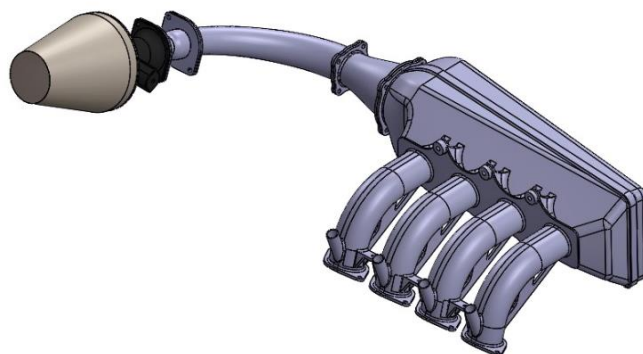
Sací trakty monopostů v soutěži Formula Student jsou odlišné v různých parametrech. Nejvíce se rozlišují tím, kde se nachází škrťací klapka a odkud motor vzduch nasává. Většinou je filtr se škrťací klapkou umístěn nad hlavou řidiče těsně pod horní maximální polohou rámu. Zde je uložení nejvýhodnější z hlediska proudění vzduchu i z hlediska teploty nasávaného vzduchu a rychlosti proudění. Proudění vzduchu proudící kolem formule jsou nejvíce ovlivněny aerodynamickými prvky formule. Toto místo se nachází před zadním křídlem a dostatečně vysoko nad monopostem tak, aby šasi a přední křídlo monopostu neovlivňovalo nasávaný vzduch. Problém je zde s helmou řidiče. Místo nasávání vzduchu se tedy musí nacházet dostatečně vysoko i nad helmou řidiče. Pokud by tomu tak nebylo, víření vzduchu helmou řidiče by ovlivňovalo výkon motoru.



*Obr. 9 sací trakt s nasáváním vzduchu nad hlavou řidiče [16]*



Dalším řešením je nasávat vzduch na boku monopostu. Toto řešení je také často aplikováno. Studentští konstruktéři si však musí dát pozor, aby za žádných okolností ve všech rychlostech na závodním okruhu neovlivňovali turbulentní proudy jdoucí od předního křídla, klapek na bocích šasi či sidepodů. Dalším problémem u víceválcových motorů je obtížné rovnoměrné plnění válců.



*Obr. 10 boční sání monopostu Formula Student [15]*

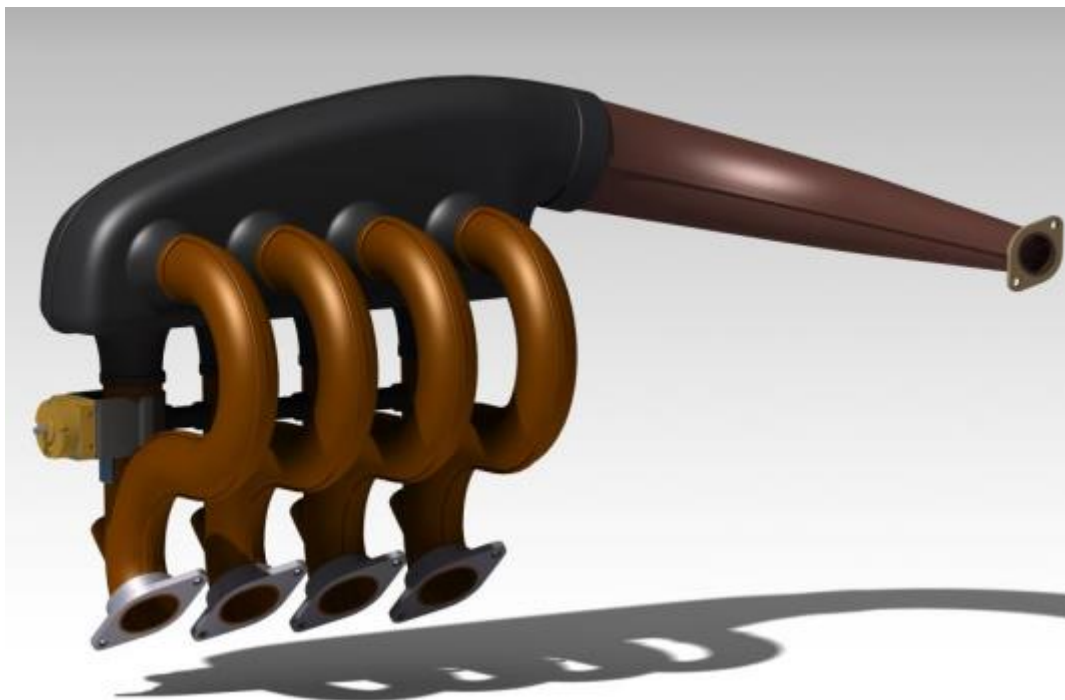
Posledním nejčastěji používaným řešením je umístění škrtkové klapky za motorovou jednotku pod zadním křídlem monopostu. Tento systém se používá, pokud je problematické rozmístění komponent motoru, či jsou obtížné zástavové parametry vozu. Sníží se také těžiště monopostu. Má však mnoho nevýhod. První je vyšší teplota nasávaného vzduchu. Jelikož se sání nachází za motorem, je nasávaný vzduch ovlivněn teplotou motoru. Vzduchové kanály či plenum ani není vzduchem chlazeno, protože se většinou také nachází za motorovou jednotkou. Další nevýhodou je, že vzduch, který je nasáván, je často rozvířen a i to má vliv na účinnost plnění válců.



*Obr. 11 Sací trakt umístěn v dolní části za motorem [16]*



Se zlepšováním monopostů Formula Student přichází také neodmyslitelně vývoj. Sací systémy jsou čím dál více komplikované a studenti pokračují na stálém zdokonalování. Dalším možným vývojovým segmentem je laděné výfukové sací ústrojí. Jeho princip popisují v kapitole 6. Laděné sací trakty jsou však naladěné pro úzké spektrum otáček. Tato problematika se dá vyřešit právě variabilním sacím ústrojím. Některé týmy již tento koncept nasadily na svých monopostech. Tým CTU Cartech se také pokusil o vývoj variabilních sacích kanálů, avšak projekt se nedočkal výroby. Některé týmy mají však své laděné sání s proměnnými délkami vyrobené a již je využívají v závodech. Nevýhody jsou samozřejmě složité řešení, vyšší cena, vyšší hmotnost a možná poruchovost. Výhody však převládají v podobě výkonových parametrů a možných zajímavých designových řešeních pro bodové ohodnocení. [5][6][8][16]



*Obr. 12 Dvoustupňový sací trakt CtU Cartech [8]*



## 7. Druhy variabilních sacích systémů

### 7.1 Plně variabilní sací trakt

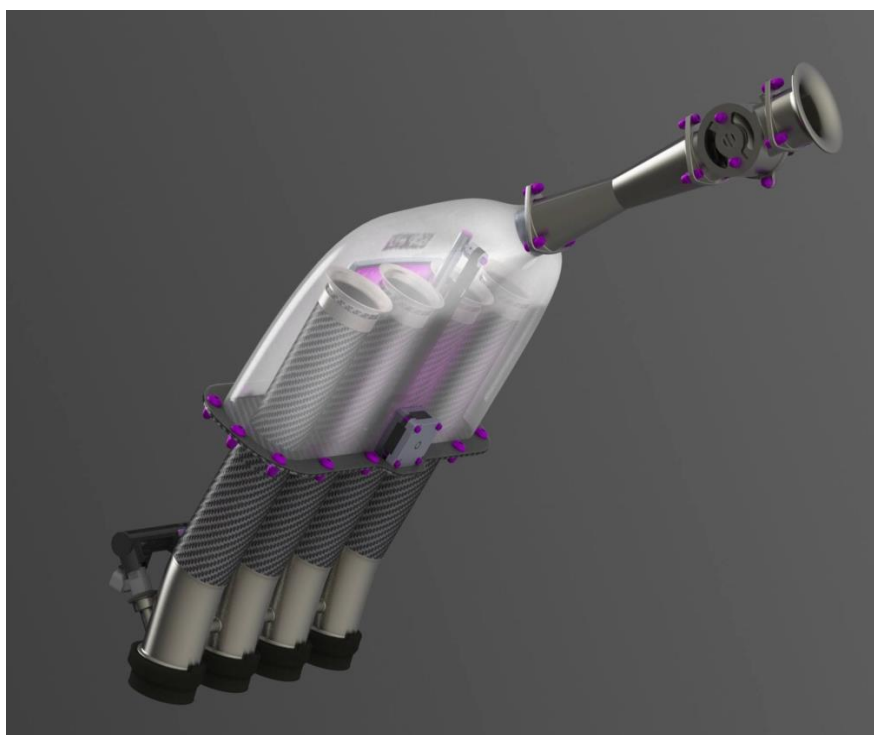
Plně variabilní sací trakt je takový trakt, který dokáže měnit délku sacích kanálů přesně podle otáček motoru. Se změnou otáček se plynule prodlužují či zmenšují sací kanály. Toto absolutně variabilní řešení je nejvíce výkonné. Dokážeme přesně změnit délku sacích nátrubků a tím je motor vždy rezonančně přeplňován. V tom případě je nejvíce účinný z hlediska plnění válce. Tato řešení však nebývají vůbec jednoduchá a nejčastěji naráží na problém se zástavbovými rozměry do motorového prostoru vozu. Řešení je také velice nákladné, z toho vyplývá že se s tímto systémem můžeme setkat pouze u prémiových vozů či závodních aplikací. Prvním průkopníkem tohoto systému umístěného do sériových vozů bylo BMW. Použili tento systém do své vlajkové lodi BMW 7er. Jednalo se o vidlicový osmiválec o objemu 4.4 litru. Toto provedení je z hlediska zástavby velmi výhodné. Sací kanály válců jsou totiž velmi blízko u sebe a je možné pro toto řešení vyvinout komplexní jednotný mechanismus. Německá automobilka vyvinula mechanismus s natáčecím vnitřním tělem sacího traktu. Natáčecí systém je schopen ušetřit spoustu zástavbového místa, avšak platí za to s o něco vyššími plnicími ztrátami oproti přímému nátrubku. Délky sacích kanálů se pohybovaly od 0,2 m až přes 0,6 m, a i přes tuto délku je délka sacích kanálů nastavována až od 3500 1/min. Tento typ sací příruby začali vyrábět i jiní výrobci, jednalo se o motory V6 a V8.



*Obr. 13 Plně variabilní sání bmw [20]*



Druhým typem plně variabilního sání je spíše sportovní užití. Jedná se o prodlužování nátrubků. Tyto nátrubky se zasouvají a vysouvají ze sacího kanálu a tím tak mění svoji délku. Tento typ sání je více rozměrný než sání s točivým elementem, avšak plnicí ztráty jsou menší, poněvadž nátrubky nemají žádný nebo malý rádius. Nátrubky jsou vysouvány pneumaticky nebo pomocí elektrického lineárního aktuátoru. Nátrubky začínají v sacím plénu, které musí být rozměrné, aby se zmístily nátrubky i plně vysunuté. Z tohoto důvodu se používá X-klapková sací soustava. Nátrubky pak ústí do volného prostoru a škrtkící klapka je až za nátrubky pro každý válec. [12][20]



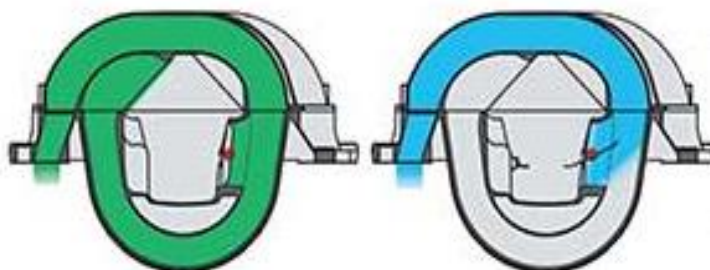
*Obr. 14 plně variabilní sání monopostu s vysouvajícími se nátrubky [12]*

## 7.2 Několika stupňový sací trakt

Pokud se setkáme v praxi s variabilním sáním, většinou se jedná o dvou nebo třístupňové provedení. Nejrozšířenější způsob, jak měnit délku sacího kanálu je pomocí klapky. Tyto klapky uzavírají cesty v sacím traktu tak, aby vzduch vždy musel proudit delší cestou a tím se prodlouží délka sacího kanálu. Podle uskupení sacího traktu a počtu cest pro proudění vzduchu se určuje, kolika stupňový sací trakt je. Často se setkáváme se sacím traktem o dvou nebo třech stupních. Typickým příkladem tohoto dvoustupňového typu je motor V6 od automobilky Mercedes-Benz. Podobný, avšak třístupňový systém se objevil



například na autě Audi s motorem 4,2l V8. Zajímavé složitější systémy, stále však s klapkovým mechanismem, se objevily například na autech Porsche 964 Carrera, 993, 996 či známé Hondě NSX.



*Obr. 15 schéma sacího traktu motoru V6 MB [13]*

Jiným konceptem dvoustupňového sání je osazen motocykl Yamaha R6. Tento systém spočívá v odejmutí kusu sacího kanálu. Tím se sací nátrubek zkrátí nebo naopak prodlouží v závislosti na nutnosti. Sestava obsahuje složitější pákový mechanismus, který je schopen pomocí servomotorku a ozubených kol posunout vršek nátrubku tak, aby se nedotýkal a byl dostatečně daleko od pevného nátrubku.



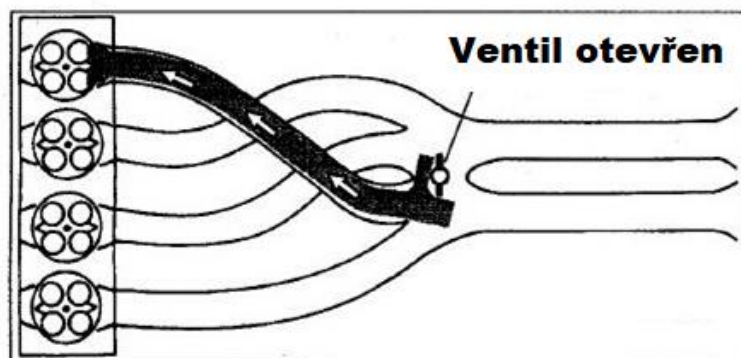
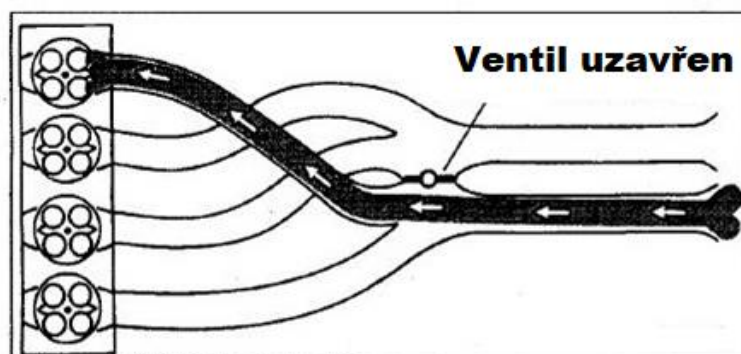
*Obr. 16 Variabilní sání Yamahy R6 [14]*

Neobyčejným způsobem, jak prodloužit délku sacích kanálů, je tzv. DISA klapka. S tímto systémem přišlo první BMW na motorech m42B18. Jedná se o sací trakt, kdy jsou





hlavní dva sací kanály vedeny do dvou u sebe ležících válců. Mezi těmito sacími kanály je klapka. Při nízkých otáčkách je klapka uzavřena. Sací kanály jsou dlouhé a ústí až ke škrtkové klapce. Pokud se otáčky zvýší, DISA klapka se otevírá a propojí tak dva hlavní sací kanály. Propojením se zde vytvoří vzduchový prostor podobný sacímu plénu, tím se velmi zkrátí sací kanály vedeny od válců motoru a válec je lépe plněn i za vysokých otáček. [8][12][13][14][20][25]

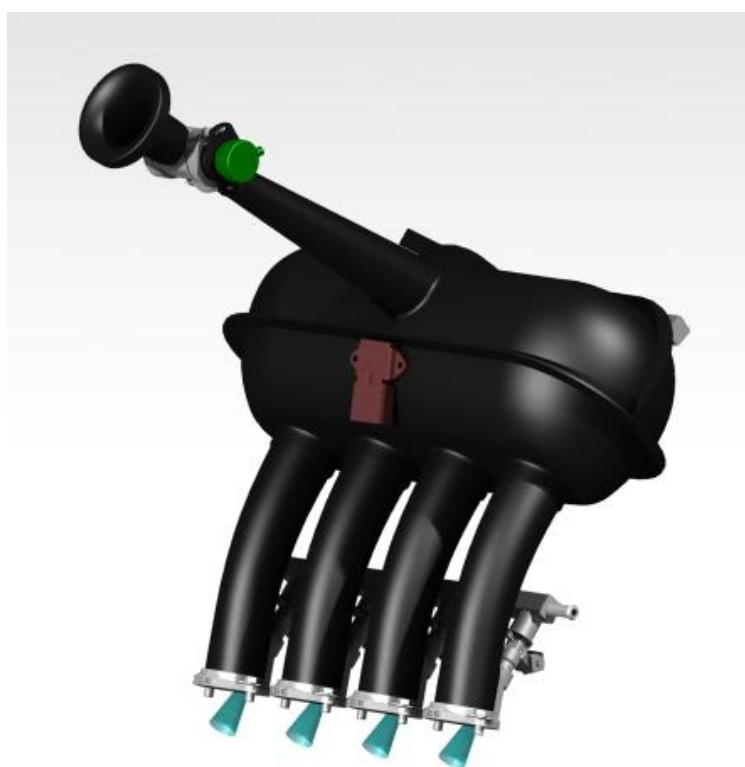


*Obr. 17 Sání vozu BMW 318IS s otevírací DISA klapkou pro vysoký výkon ve vysokých otáčkách [25]*



## 8. Stávající řešení sacího traktu monopostu

Stávající řešení sacího traktu monopostu CTU cartech je statické a nijak neproměnné. Poslední evoluci sacího traktu navrhl Ing. Mark Erdeliy. Sací trakt byl optimalizován pro co nejlepší průběh kroutícího momentu. Z tohoto důvodu byla zoptimalizována výška nátrubků sacího traktu, a to na 187 mm. Sací trakt také obsahuje škrtkovací klapku s válečkovým elementem. Tato klapka má při plném otevření minimální ztráty při plně otevřeném stavu.

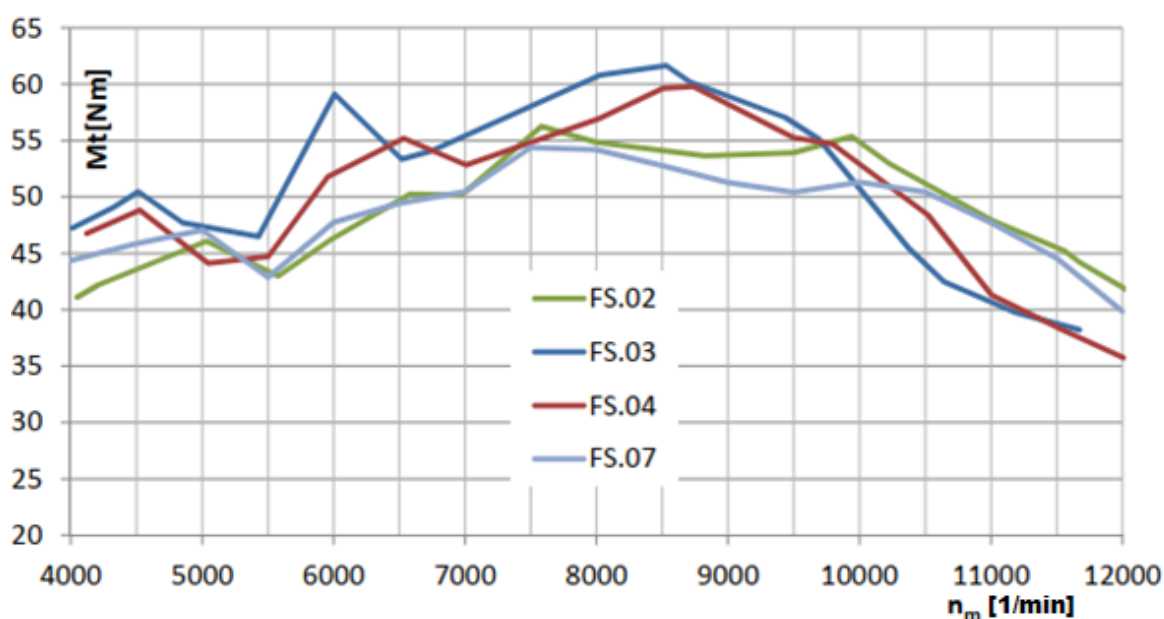


*Obr. 18 Sací trakt monopostu CTU cartech FS.13*

Jak již bylo zmíněno, sací trakt má délku nátrubků 187 mm. Tato délka byla pečlivě zoptimalizována pomocí softwaru GT-power. Jedná se o kompromis v délce nátrubků, kde délka není ideální pro nízké ani vysoké otáčky, ale je nejvíce výhodná pro spektrum otáček, které se na závodech dosahují. V roce 2016 byla také provedena studie Ing. Ondřejem Císařem, která porovnává sací trakty z minulých let. Studie ukázala, že základními parametry sacího ústrojí jsou právě nátrubky sacích kanálů a objem sacího pléna. Z předchozích modelů je možné vyčíst, že základ dobrého sacího traktu je



dostatečná velikost sacího pléna. Pokud sací trakt takové plénum má, závisí poté už jen na délce nátrubků a jejich naladění na co nejlepší plnicí účinnost. Z předchozích sacích traktů také vyplývá, že krátké nátrubky se nejvíce hodí pro vyšší otáčky. FS.02 a FS.07 s nátrubky 160 mm mají špičky ve stejných otáčkách, avšak sací trakt FS.07 měl moc malé sací plénum. Ve špičkách, kde mělo dojít ke tlakové vlně, bohužel nebyl v sacím plénu dostatek vzduchu. Sací trakt FS.04 měl nátrubky s délkou 200 mm, špičky byly posunuty do nižších otáček, avšak ve vyšších otáčkách ztrácely plnicí účinnost také z důvodu aerodynamickému ucpání restriktoru. To samé platí pro sací trakt FS.03. Tento trakt však posouvá špičku plnění ještě do nižších otáček, protože délka nátrubků je 210 mm.



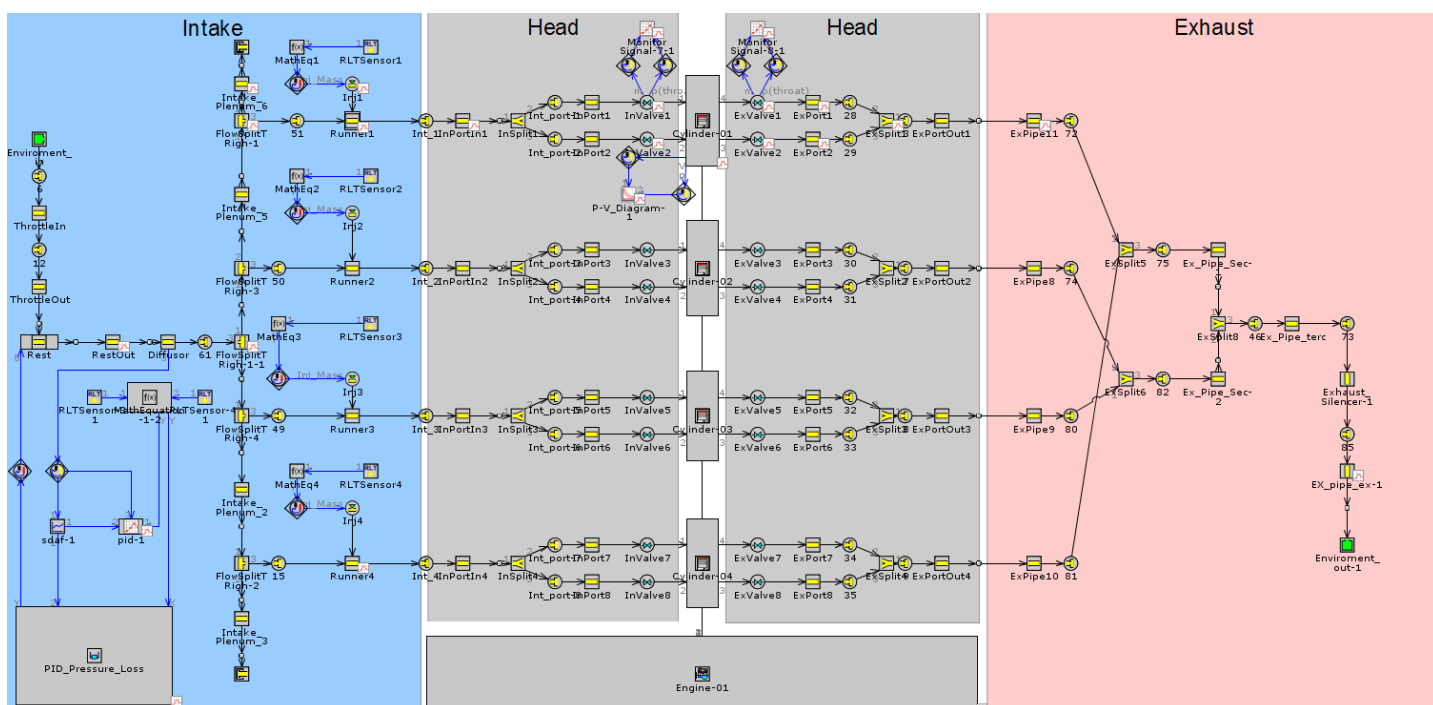
Obr. 19 točivý moment starších sacích systémů změřen na brzdové stanovišti [5]

Tyto hodnoty jsme také schopni namodelovat v programu GT-Power. Lepší je však přímé měření na brzdovém stanovišti. Každý motor je svým způsobem jiný a pro lepší naladění celého systému bylo na brzdovém stanovišti vyrobeno sací ústrojí s proměnnou délkou sacích nátrubků. Tyto nátrubky lze však měnit pouze pokud se neprovádí měření. Poskytně nám to však cenné hodnoty k optimalizaci modelu v softwaru. Nátrubky lze modifikovat od 140 mm až do 280 mm. [5][6][7]



## 9. Model GT-power motoru CTU cartech

CTU Cartech se snaží každým rokem zlepšit monopost a taktéž jeho motor. Základním řešením pro úspěšný vývoj je mít simulační model, ve kterém se pomocí výpočetní techniky mohou porovnávat různá řešení a zkoumat vliv různých parametrů na chod motoru. CTU Cartech zvolilo na počátku vývoje software GT-Power. Model je každým rokem zdokonalován a optimalizován. Pomocí hodnot naměřených na brzdovém stanovišti jsme také schopni porovnání s reálným řešením.



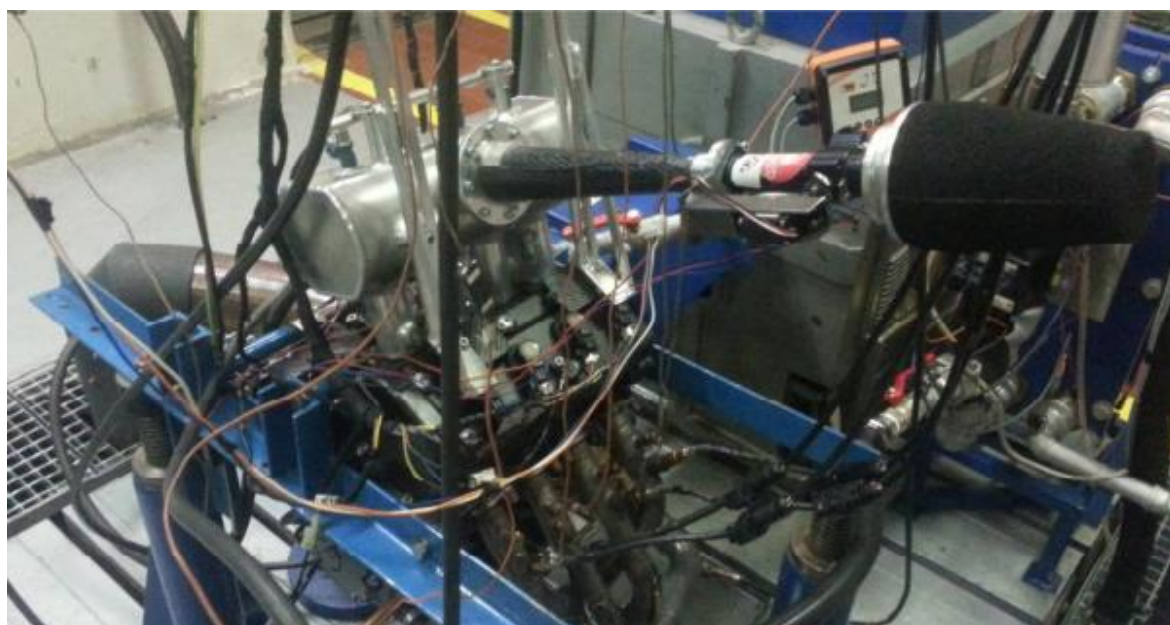
Obr. 20 Model GT-Power motoru CTU Cartech

Modrá část zde představuje sací trakt. Je zde vymodelované plénium s nátrubky a restriktorem. Škrtící klapka a restriktor jsou zde vymodelovány na principu ztrát. Nejdříve se na stanovišti s clonkovou tratí v laboratořích na Julisce změřily tlakové ztráty. Měření probíhalo tak, že jsme nasávali přes restriktor a klapku vzduch, dokud nedošlo k aerodynamickému ucpání. Tento průběh jsme poté zadali jako výchozí parametr u restriktoru v modelu.



## 10. Srovnávací model

Abychom mohli porovnávat různá řešení, musíme mít nějaký porovnávací nástroj. Jedním způsobem, jak řešit tuto problematiku, je vyvinout různá řešení, vyrobit je a testovat přímo na monopostu. Toto řešení je však velice nákladné. Je také dosti nepřesné, poněvadž piloti týmu CTU Cartech jsou amatéři, tudíž nejsou schopni zajíždět stejně přesné výsledky každou jízdou. Některá vylepšení ušetří necelou desetinu vteřiny, tudíž porovnávat výsledky je pak velmi obtížné. Dalším možným řešením je vyrobit nějaké variabilní ústrojí, které lze připevnit na motor brzdového stanoviště. Toto řešení, jak je psáno v kapitole 8, již bylo zkonstruováno bývalými členy (Obr.21). Jelikož se ale délka sacích kanálů musí změnit vždy až po měření, jsme schopni pouze určit, jaká délka kanálů je nejvýhodnější z pohledu křivky točivého momentu motoru.



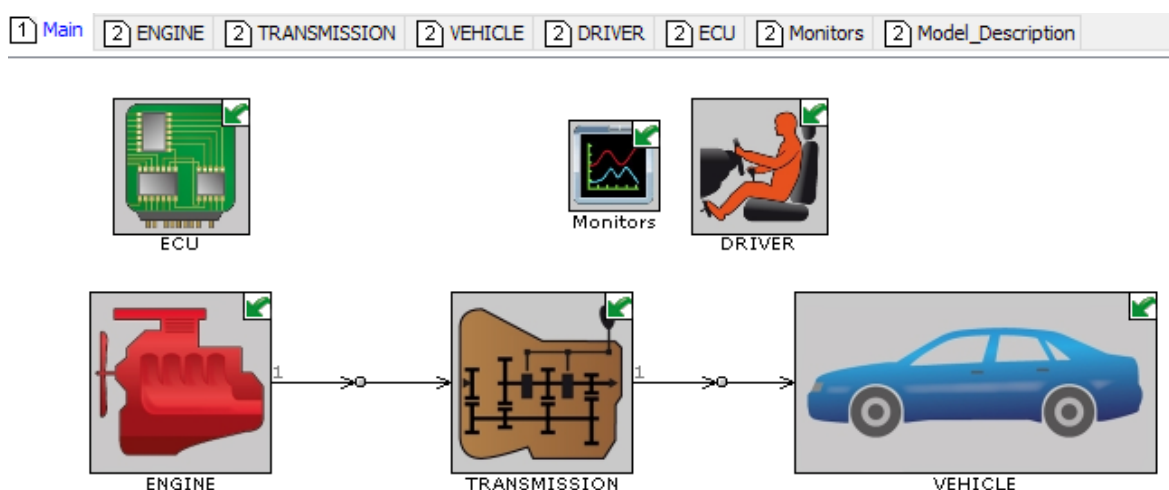
*Obr. 21 Porovnávací sací trakt na brzdovém stanovišti [5]*

Bohužel nám to však neudává ušetřený čas, který jsme byli schopni vylepšením získat. Také bohužel nemůžeme měřit řešení, které by mělo proměnnou délku sacích kanálů za chodu motoru. Možným řešením této problematiky je sestavit porovnávací model, jenž bude obsahovat parametry vozu s různými vylepšeními. Model, který takto sestojíme, by měl obsahovat nějakou zkušební trať, na níž bychom byli schopni vylepšení testovat. Možná cesta je namodelovat tuto trať s vozidlem v programu GT-Power. GT-Power má možnost v přidruženém softwaru GT-Suite vytvořit komplexní model i se závodní tratí. [5]



## 10.1 Porovnávací model v GT-SUITE

Abychom byli schopni porovnávat modely, musíme nejdříve určit správný výpočetní program. Z tohoto hlediska je pro nás výhodný program GT-SUITE. GT-SUITE je přidruženým programem programu GT-Power, kde má tým CTU Cartech model pohonné jednotky. Z tohoto hlediska je zvolený program velmi výhodný, protože jsme schopni kombinovat různé parametry nebo je přenášet z modelu do modelu. Dále je třeba zvolit, jak budeme k modelu přistupovat. Nejlepší variantou, kterou jsem zvolil, je rozdělení trati na jednotlivé segmenty. Tyto segmenty jsme poté schopni modelovat a výslednice sečtených časů nám dá konečný výsledek. Dále je zapotřebí spousta parametrů. Tyto parametry musíme pečlivě zadat, abychom předešli chybám ve výpočtu a velkým odchýlkám od reality. Model je rozdělen do základních segmentů a to motor, převodové ústrojí, vůz, řídicí jednotka a řidič.



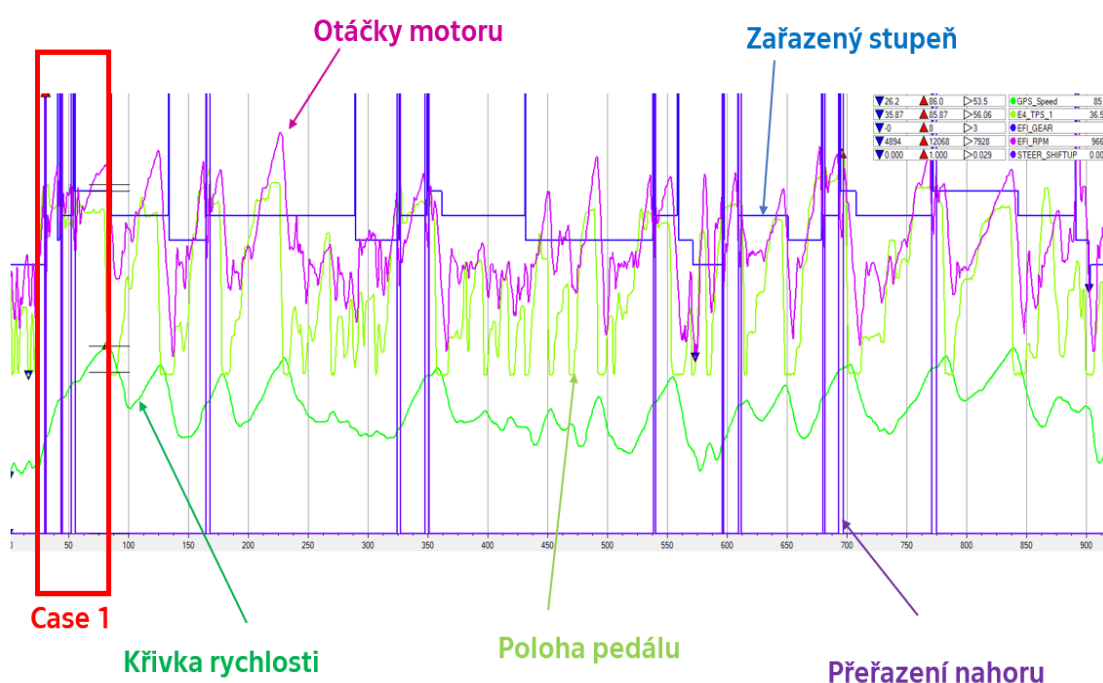
Obr. 22 Vizuální schéma modelu GT-SUITE

## 10.2 Segmenty a data

Velmi důležitá věc na tomto modelu je výběr správných dat a dobré rozdělení trati. Jelikož je model primárně určen pro vylepšení motorové jednotky, jde nám hlavně o segmenty, kdy je motor maximálně zatížen. Jelikož chceme, aby model byl jednoduchý a nebyl výpočetně náročný z důvodu časové úspory, nebudeme modelovat celou trať. Budeme také zanedbávat segmenty trati, kdy řidič nemá sešlápnutý plynový pedál, jelikož tyto segmenty nám úsporu času z pohledu motorové jednotky nepřinesou. Dále také



zanedbáme ty části, kde řidič nemá plně sešlápnut plynový pedál, poněvadž v těchto segmentech pouze udržuje rychlost a nepoužívá plný potenciál motoru. Vybrány budou pouze segmenty, kdy řidič dá plný plyn na závodní trati. Tyto segmenty vybereme a podle dat z vozu zapíšeme, jak dlouhé tyto segmenty jsou, jaká je začáteční a výsledná rychlost na konci těchto segmentů, jak dlouho trvalo jejich zdolání, kolikrát řidič přeřadil rychlostní stupeň, otáčky motoru a jak jsou tyto segmenty dlouhé. Například pro začáteční nastavení modelu sloužila trať ve Španělsku. Trať byla rozdělena na segmenty a z nich byly patřičné hodnoty. Segmentů, kdy pilot sešlápl naplno plynový pedál, bylo 12. Zde pracoval motor na plný výkon a měl tak charakteristiku s plně otevřenou škrtkicí klapkou.



Obr. 23 Data z kola závodu Formula Student ve Španělsku

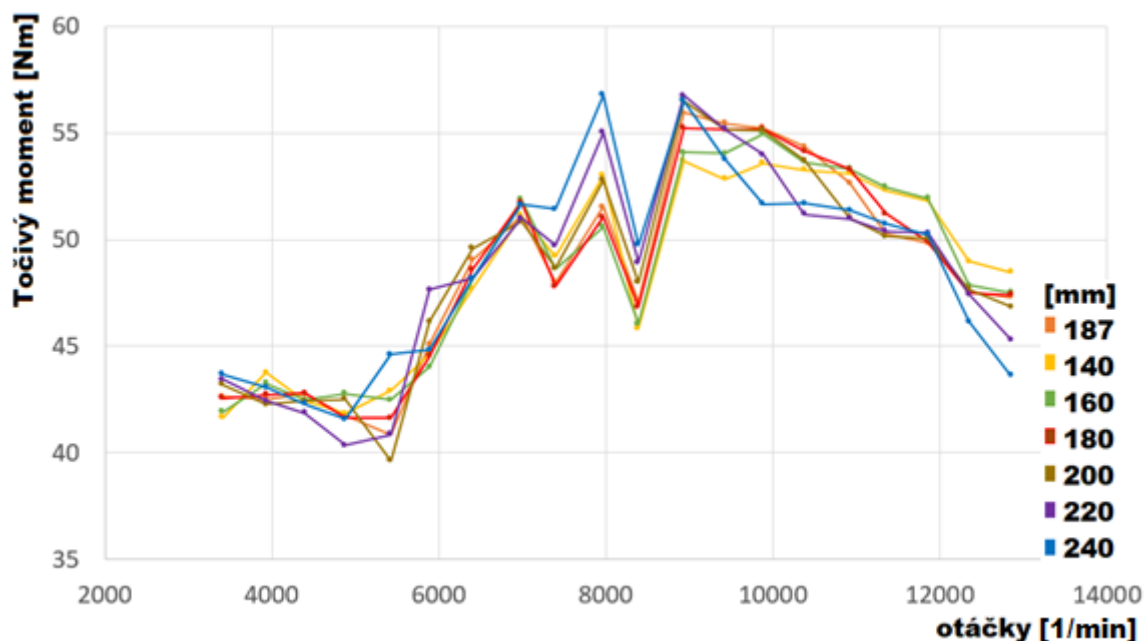
case	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Poč. Převodový stupeň	1	3	2	3	2	2	2	1	3	2	3	4
Počáteční rychlost [km/h]	29.3	57.3	45.2	52.2	44.6	40.6	37.1	34.1	52.9	44.7	46.2	66.1
Konečná rychlost [km/h]	85.7	76.4	71.2	79.4	74.7	62.3	71.2	60	67.8	76.7	70.6	84.1
Otáčky motoru [1/min]	7568	8445	8406	7828	8963	8022	7704	8473	7580	8312	7393	8252
Počátek segmentu [m]	24.4	100	153.9	201.7	322.8	480.4	517	592	631.5	667.1	737.5	814.4
Konec segmentu [m]	81.6	126.7	176.4	228.9	356.5	492.6	553.6	614.6	648.3	700.9	781.6	837.9
Délka segmentu [m]	57.2	26.7	22.5	27.2	33.7	12.2	36.6	22.6	16.8	33.8	44.1	23.5
Počáteční čas [s]	3.043	7.185	10.574	13.592	21.672	32.493	35.593	41.242	44.009	46.355	50.705	55.015
Konečný čas [s]	6.296	8.673	11.974	15.072	23.669	33.316	37.849	42.9	45.014	48.293	53.223	56.128
Čas segmentu [s]	3.253	1.488	1.4	1.48	1.997	0.823	2.256	1.658	1.005	1.938	2.518	1.113

Tab. 2 Hodnoty získané z jednoho měřeného kola ze závodu ve Španělsku



### 10.3 Nastavení pohonné jednotky

V modelu je nejprve třeba nastavit kompletně pohonnou jednotku. Základní parametry jsou minimální otáčky, zdvihový objem, zda je motor čtyřdobý a moment setrvačnosti motoru. Také je potřeba kompletně definovat palivo. Palivo je definováno pravidly soutěže Formula Student. Dále je třeba nadefinovat počáteční otáčky, úhel natočení a počáteční polohu pedálu. Hlavním parametrem, který musíme nadefinovat je průběh točivého momentu či výkonu motoru. Tyto hodnoty jsme schopni získat ze simulace modelu motoru v programu GT-Power. Především si hodnoty musíme nejdříve připravit. Připravíme si tedy model GT-Power, který je optimalizován pro motor z minulého ročního monopostu. Tento model obsahuje stabilní sací ústrojí s délkou nátrubků 187 mm. V modelu je kompletně vymodelován také sací trakt s odpovídajícími hodnotami objemů sacího pléna či stejnými rozměry nátrubků. Nejdříve je tedy provedena simulace se stávajícími nátrubky a sacím plénem. Další krok je provést simulaci s různými délkami nátrubků. Zástavbové rozměry nátrubků v sacím traktu nás omezují na maximální délku nátrubků 240 mm a minimální 140 mm. Poněvadž pro větší nátrubky zde není prostor z důvodu maximální možné obálky (viz. Kap. 2.4). Nátrubky byly tedy modifikovány v rozměrech od 140 až 240 mm se stejným sacím plénem jako bylo použito na monopostu FS.13 a s touto modifikací byl motor simulován.



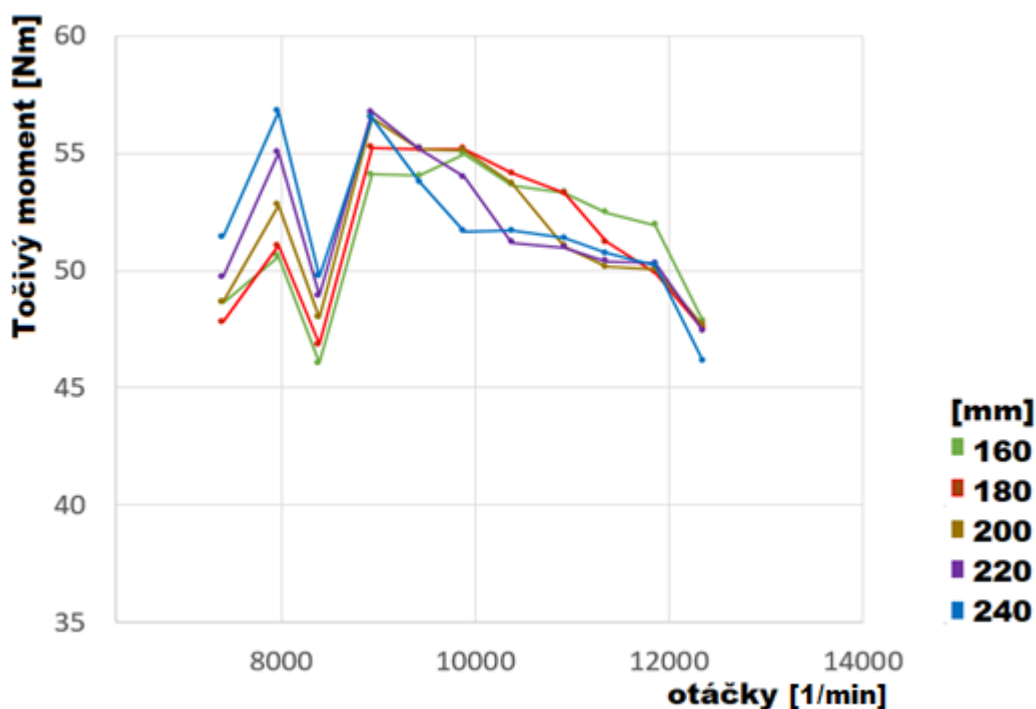
Obr. 24 Průběhy točivého momentu s různými délkami nátrubků

Z grafu (obr.24) je patrné, že pro různé délky nátrubků jsou různé hodnoty točivého momentu. Všechny délky nátrubků jsou specifické a mají maximum v různých otáčkách. Je





patrné, že čím kratší délka nátrubků je, tím vyšších hodnot točivého momentu dosahuje motor ve vyšších otáčkách. Avšak pro nátrubky hodnoty 140 mm toto neplatí, poněvadž kde by měl točivý moment být vyšší než všechny ostatní, dochází k aerodynamickému ucpání restriktoru, tudíž nejsme schopni využít maximální potenciál tohoto řešení. Pro další návrh budeme tedy počítat nejnižší hodnoty délky nátrubku 160 mm, protože z této délky jsme stále schopni profitovat. Byla tedy provedena modifikace modelu sacího pléna v modelu tak, aby bylo možné do něho umístit nátrubky s délkou 160 mm až 240 mm a odpovídalo to reálnému plénu. Abychom z grafu mohli určit ideální délky nátrubků, musíme ho omezit z obou stran hodnotami otáček. Spektrum otáček, po kterém se motor v závodě pohybuje je 7500 až 12000. A po odstranění příliš malých nátrubků a měření sacího traktu z minulého roku graf vypadá takto Obr.25.



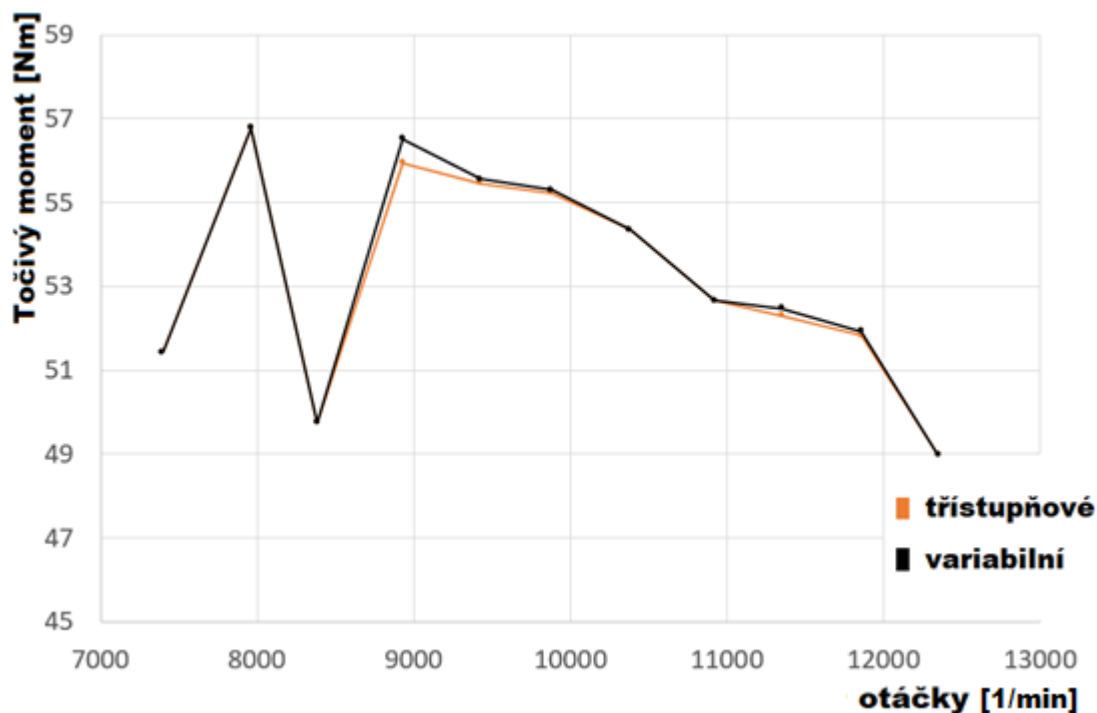
Obr. 25 Simulované délky nátrubků v GT-Power

Z tohoto grafu je vidět, že do 8900 otáček za minutu jsou nejvíce výhodné nátrubky o délce 240 mm. Tato délka nám oproti stávajícímu řešení přinese v 8000 otáčkách až 6 Nm navíc což je necelých 12 %. Jak je patrné z grafu od otáček 9000 1/min, začíná křivka s nátrubky o 240 mm délce velmi strmě klesat. Zde by bylo nejvýhodnější zmenšení délky nátrubků na 180 mm. To by mělo nejvyšší přínos až do otáček 11000 1/min, kde křivka



s nátrubky o délce 160 mm začíná být dominantnější. Výsledné nejlepší zmenšení by tedy bylo na 160 mm. V podstatě by bylo výhodné s rostoucími otáčkami nátrubky zmenšovat. Z těchto simulovaných hodnot jsme schopni nasimulovat hodnoty s proměnnou délkou sacích kanálů. Kde do 9000 otáček by byla délka nátrubků 240 mm. Od otáček 9000 1/min do otáček 11000 1/min by byla délka 180 mm.

Od otáček 11000 1/min do maximálních by se nátrubky zmenšily až na 160 mm. Tyto tři hlavní segmenty jsou tak dominantní, že by stačilo pouze třístupňové sací ústrojí. Rozdíl plně variabilního ústrojí by byl zanedbatelný. Největší propad je kolem otáček 9000 1/min a jedná se pouze o 1 Nm. Z tohoto důvodu se tato práce bude dále ubírat spíše směrem třístupňového sacího traktu, avšak výsledný ušetřený čas pomocí plně variabilního sacího traktu tato práce také zhodnotí.



Obr. 26 Porovnávací graf plně variabilního a třístupňového sacího pléna



Z dalších přesnějších a podrobnějších simulací vyplynulo, že ideální by tedy byly 3 stupně Tab.3.

	rozmezí [1/min]		délka [mm]
1. stupeň	min.	8800	240
2. stupeň	8800	10700	185
3. stupeň	10700	max.	160

Tab. 3 ideální tři stupně variabilních nátrubků

Reálné řešení však nebude mít jednorázové přechody mezi jednotlivými stupni, bude nejvíce záležet na návrhu. To, jak rychle bude moci sací trakt změnit délku nátrubků, bude klíčové. Na rychlosti změny bude záviset i výsledná křivka motoru, velké skoky křivky budou více zaobleny z důvodu zpoždění přepnutí na jinou délku nátrubků.

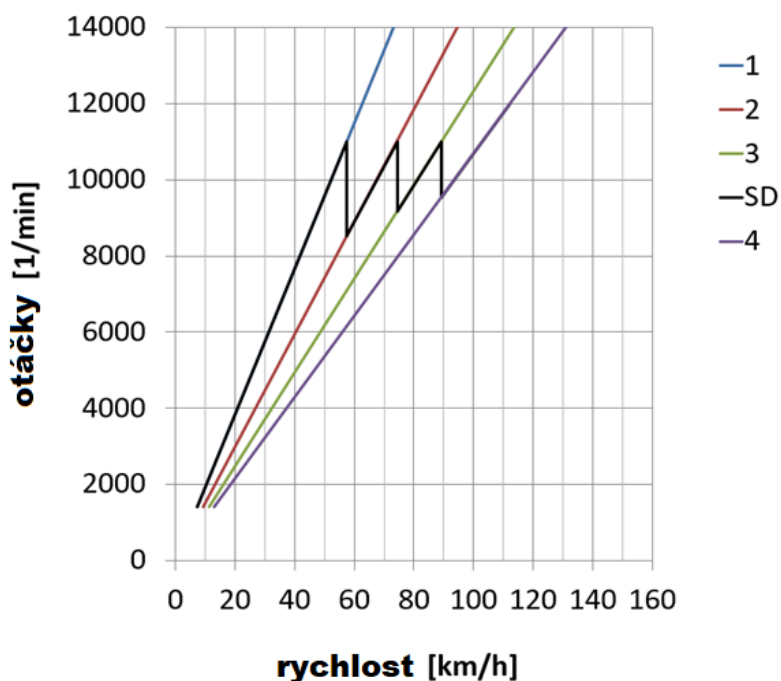
Průběhy momentů jsou nejdůležitější parametr, který se musí zadat do modelu GT-SUITE. Z tohoto průběhu jsou měřitelné všechny vylepšení na motoru s ohledem času na měřené kolo. Tudíž jakoukoliv úpravu motoru budeme moci vyčíslit v ušetřeném čase.

#### 10.4 Nastavení převodového ústrojí

Nastavení převodového ústrojí je taktéž velmi důležité, musíme zde dbát na správné parametry spojkové soustavy. Taktéž musíme správně nadefinovat převodovou skříň. Musíme znát přesné převodové poměry a jejich účinnosti. Monopost týmu CTU cartech disponuje vlastním převodovým ústrojím, které zde vyvinul dlouholetý člen týmu Ing. Michal Slaný.

Sekundární převody				
Rychlostní stupeň	1	2	3	4
Pastorek	31	28	25	26
Kolo	12	14	15	18
$i_{sek}$	2,583333	2	1,66666667	1,444444
Poměry převodů		0,225806	0,16666667	0,133333
$i_{prim} * i_{sek}$	5,355691	4,146341	3,45528455	2,99458

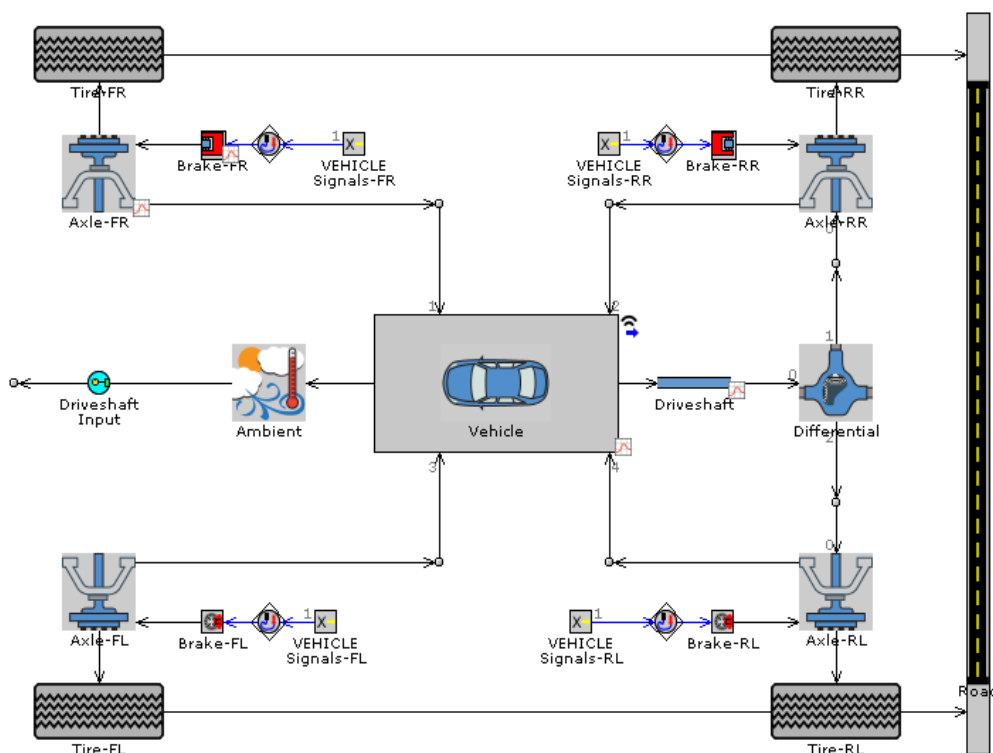
Tab. 4 Převodové stupně monopostu CTU cartech



Obr. 27 Pilový diagram nastavení převodové skříně v modelu

## 10.5 Nastavení vozu

Nastavení vozu v modelu je velmi podrobné, musíme nastavit každý parametr, který souvisí s jízdou na rovině. Nastavit se musí zejména parametry pneumatik. Pneumatika je totiž jediným prvkem, který spojuje monopost s vozovkou. Všechny parametry monopostu zde musí být také řádně zaznamenány a nastaveny, hlavním parametrem je hmotnost řidiče a hmotnost vozu. Jsou zde opomenuty i aerodynamické prvky vozu včetně aerodynamických odporů v kartě vozidlo – aerodynamika. Model disponuje také nastavením nábojů či diferenciálu a jeho poměru. Nesmí samozřejmě chybět povrch, po kterém vozidlo jede.



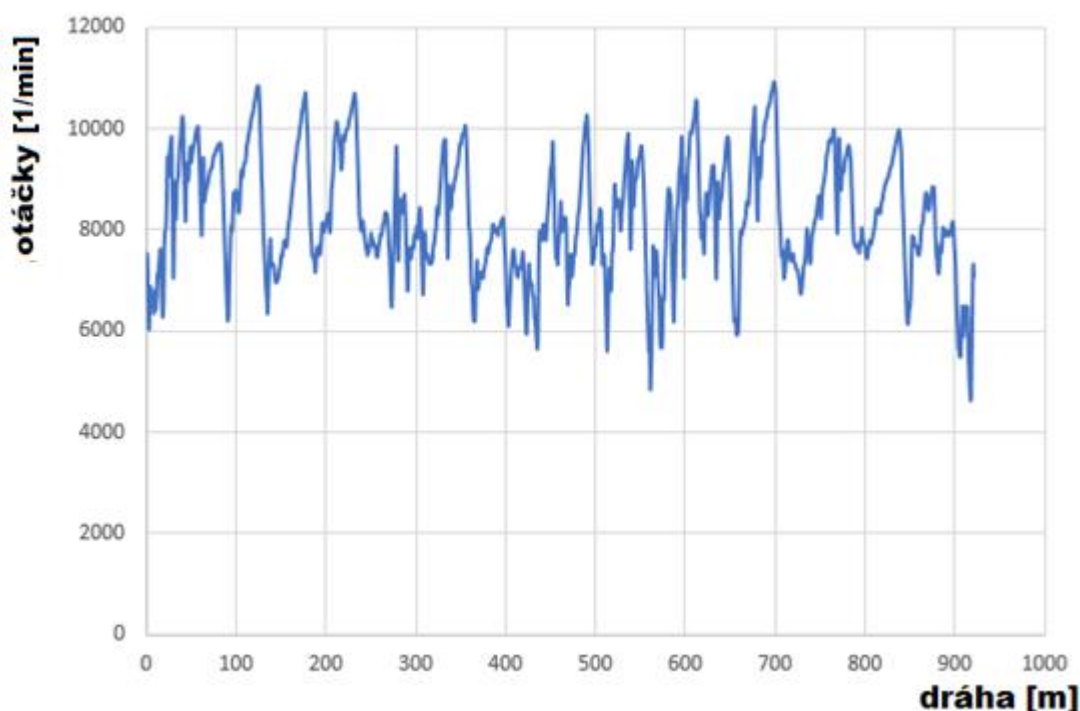
Obr. 28 schéma nastavitelných prvků vozu v modelu

## 10.6 Nastavení řidiče a řídicí jednotky

V modelu je taktéž nutno nastavit chování řidiče na trati. Jelikož máme dostupná data ze závodů, víme, na jakých segmentech řidič sešlápl plný plyn. Tyto segmenty je nutno odečíst z dat ze závodů a podle toho nastavit také segmenty z pohledu řidiče. V našem případě se jedná o vzdálenost, po kterou pilot držel plný plyn, než jí zdolal. Důležitým parametrem je také řazení řidiče. Ze závodů vyplývá, že piloti nejčastěji řadí v otáčkách okolo 10300 1/min. Tato hodnota také plyne z doporučení bývalých členů týmu s ohledem na spotřebu paliva. Jak je již patrné ze vzorce měrné spotřeby paliva, spotřeba úzce souvisí s otáčkami motoru. Pro závod endurance je tedy výhodnější řadit při nižších otáčkách, poněvadž v této oblasti dosahujeme menší spotřeby paliva. Samozřejmě je toto řešení vykoupeno o něco horšími časy na kolo. To je způsobeno tím, že se pohybujeme v nižších spektrech otáček a motor zde nedosahuje takových výkonových parametrů. Naopak v ostatních disciplínách není spotřeba paliva důležitá. Proto si můžeme dovolit dosahovat vyšších spekter otáček motoru a tím je způsoben i nárůst točivého momentu a výkonu motoru. Model nám poslouží i jako porovnávací nástroj z pohledu chování řidiče. Z modelu



můžeme vypočítat potencionální zkrácení času v akceleraci, autokrossu i hlavního závodu endurance. Z výsledků minulých let jsme také schopni vykalkulovat potencionální nárůst bodů či snížení bodů za větší spotřebu paliva. Porovnávat zde můžeme chování řidiče hlavně z hlediska řazení při určitých otáčkách. V modelu se také musí nastavit zpoždění zařazení rychlostního stupně. Tento parametr byl velmi důležitým aspektem také z hlediska optimalizování modelu oproti reálnému závodu. Dále je třeba v modelu zadat všechny parametry řídicí jednotky, které jsou potřeba na to, aby model správně simuloval a dopouštěl se co nejmenších chyb.



*Obr. 29 průběh otáček jednoho kola závodu endurance ve Španělsku*

## 10.7 Optimalizace modelu

Model je třeba velmi pečlivě zoptimalizovat. Na optimalizaci modelu závisí přesnost výsledků a důvěryhodnost celého porovnávacího přípravku. Jako referenční prvek je zvolen závod ve Španělsku s pilotem Ing. Janem Michálkem. Tento pilot je nejrychlejším pilotem týmu CTU Cartech a nejčastěji řadí v otáčkách 10700 1/min. Hodnoty ze Španělska byly také zvoleny z důvodu stálé nadmořské výšky a minimálního až zanedbatelného převýšení na trati. V měřených kolech musíme nejdříve najít segmenty, které mají být simulovány aneb

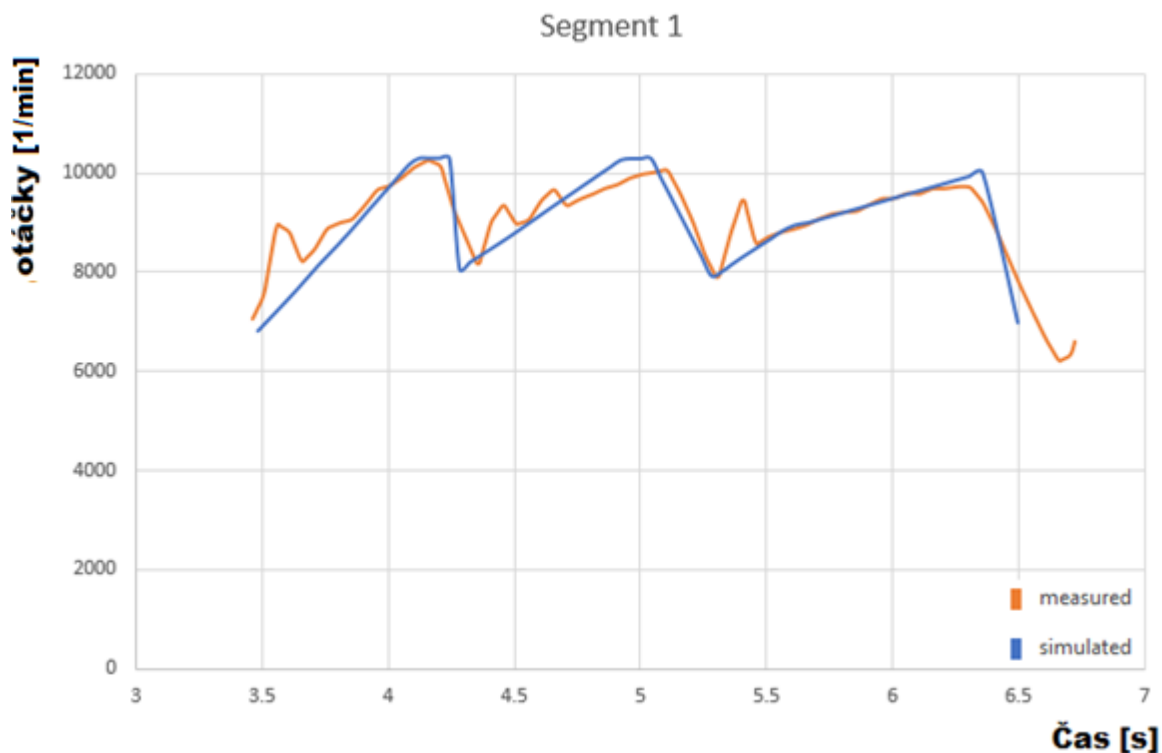


ty, u nichž jede pilot na plný plyn. Těchto segmentů bylo v kole nalezeno 12. O segmentech máme dostatečné informace. Počáteční rychlost, čas, za který byl segment zdolán a dráha segmentu. Pro optimalizaci modelu nám pro kontrolu poslouží i data, kolikrát pilot zařadil vyšší rychlostní stupeň, výsledná rychlost a výsledný čas. Taktéž musíme dbát na to, aby se ostatní naměřené data na segmentech podobaly datům, které získáme simulací. Pokud by tomu tak nebylo, musíme najít příčinu velkých odchylek a model náležitě upravit. Model byl prozkoumán ve všech ohledech, hlavním cílem je sladit výslednou rychlost a výsledný čas. Model byl zoptimalizován co nejlépe z dostupných dat.

Segment	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Time SIM [s]	3.265	1.486	1.372	1.503	1.929	0.824	2.238	1.559	0.987	1.919	2.545	1.137
Time REAL [s]	3.253	1.488	1.401	1.481	1.997	0.883	2.256	1.658	1.005	1.938	2.518	1.113

*Tabulka 5 Porovnání časů segmentů simulovaných (zelené) a časů naměřených (oranžová)*

Jak je vidět z tabulky 5., maximální odchylka je 0,09s v segmentu číslo 8. Podobná odchylka je v segmentu číslo 5. Po podrobnější analýze dat z monopostu se v segmentu 5 a 8 nacházela mírná zatáčka. Jela se pod plným plynem. Taktéž zde byly zaznamenány korekce volantu, tudíž zde mohly pneumatiky ztratit chvilkově přilnavost, proto zde máme horší čas. Nicméně tento fakt nemá vliv na výsledné optimalizační časy, ale v případě jiného nastavení v motoru na modelu není tento segment méněcenný. V těchto segmentech pilot používá maximálního výkonu motoru a tím se na zlepšení motoru podepíše i zlepšení výsledného času nezávisle na tom, že je zde odchylka od naměřeného času z důvodu zakřivení trati. Každý segment byl pro jistotu prozkoumán a optimalizován i z ostatních hledisek jako jsou například průběhy otáček motoru či průběhy rychlostí. Na obrázku číslo 30 můžeme vidět průběh otáček prvního segmentu. Je zde patrné, že průběhy nejsou totožné, avšak jsou velmi podobné. Na naměřených datech je vidět, že v určitých částech segmentu se otáčky od simulované verze liší. Toto je pravděpodobně způsobeno občasnou ztrátou adheze a protáčeujícími se pneumatikami po čas akcelerace.



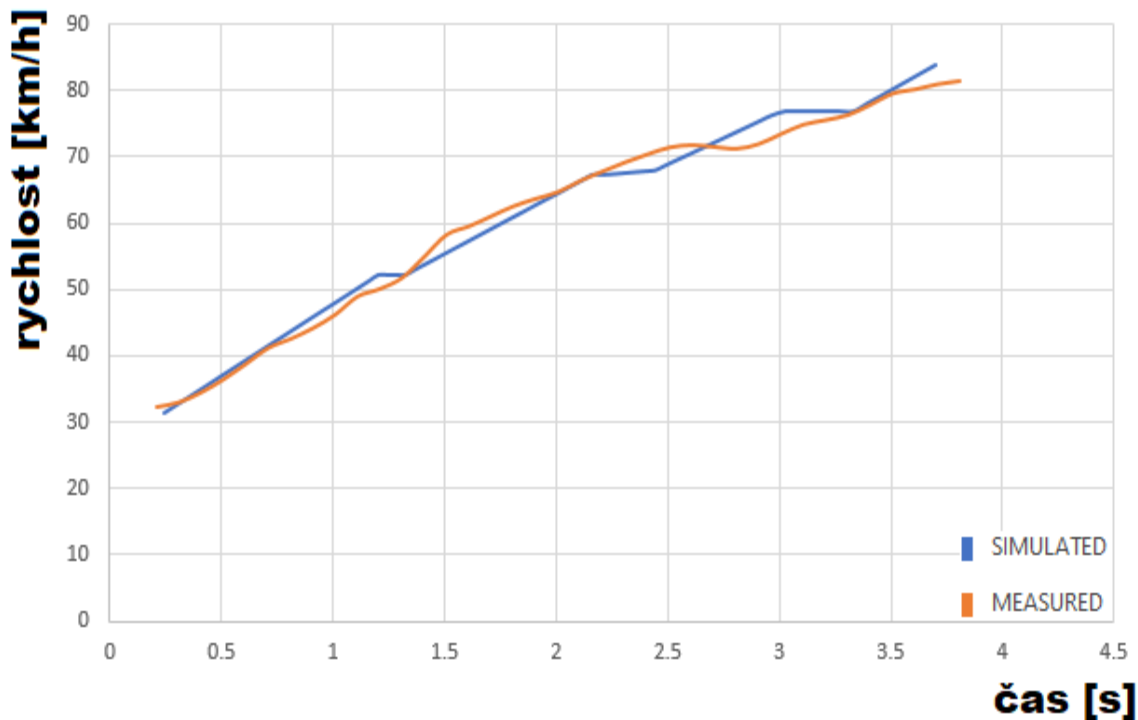
Obr. 30 Naměřené a simulované průběhy otáček motoru

Podobné srovnání průběhů vyšlo i u průběhu rychlosti. Důvodem, proč křivka rychlosti není stejná jako simulovaná, je pravděpodobně skryt na podmínkách na trati. Jedná se taktéž pravděpodobně o mírné převýšení trati nebo mírné zakřivení. Úlohu v nepřesnosti sehrává samotný měřicí systém rychlosti. Rychlost je na monopostu měřena pomocí GPS zařízení, nemáme tedy dostupnou absolutně přesnou rychlost. Výsledná rychlost odpovídá naměřené, avšak z důvodu měřicího systému GPS je křivka poněkud vyhlazená a nejsou zde vidět segmenty řazení. Důležitá je samozřejmě také výsledná rychlost na konci segmentu. Tyto rychlosti se podobně jako naměřené časy segmentů trochu liší. Abychom tyto segmenty mohli využít na jiná kola stejného okruhu, museli bychom vždy získat počáteční rychlost i otáčky na počátku segmentu. Výjezdy ze zatáček jsou pro každé kolo jiné a záleží také na konzistentnosti pilota. Tyto simulace však byly také provedeny a celkové výsledky jsou velmi podobné. Do modelu musely být zadány vždy jiné počáteční podmínky, avšak výsledné simulace se od naměřených dat lišily pouze



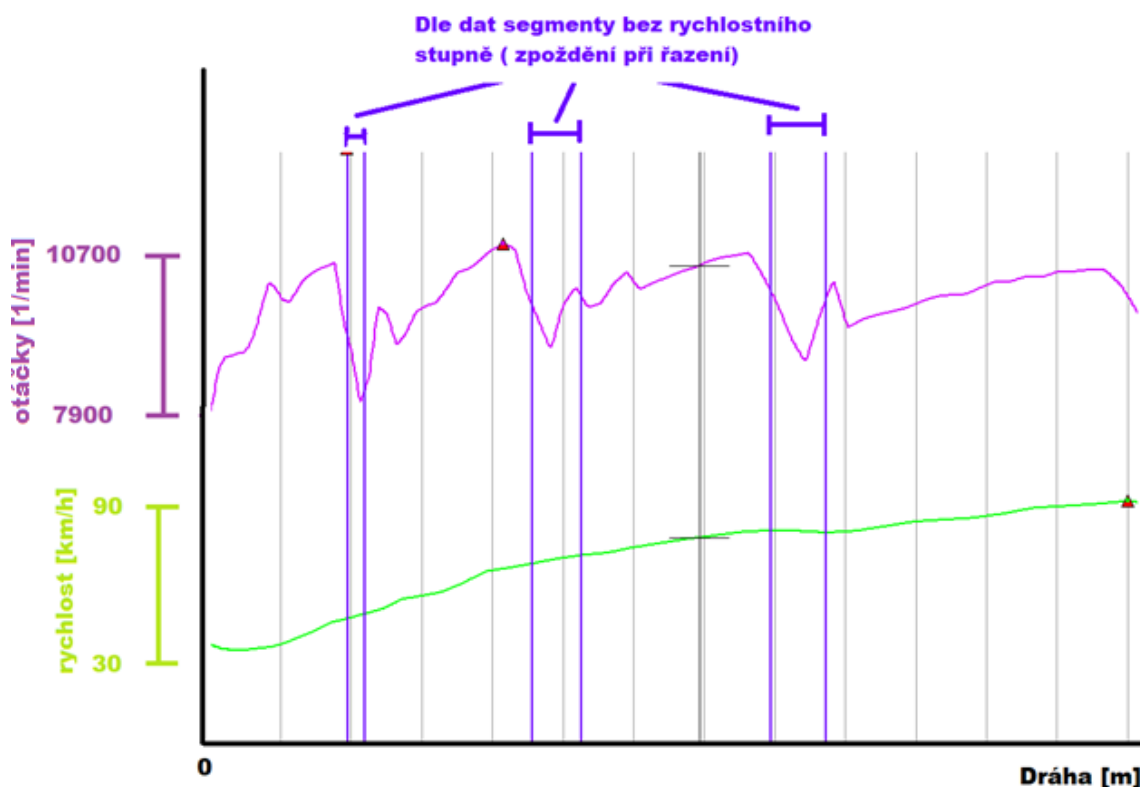


v některých případech. Tyto případy jsou většinou způsobeny chybou pilota nebo jiným vnějším vlivem, který jsme si schopni zdůvodnit v naměřených datech z vozu.



Obr. 31 Porovnání simulovaných a naměřených rychlostí z modelovaného segmentu 1

Dalším problémem je zde nestálost řazení rychlostního stupně. Monopost týmu CTU Cartech disponuje pneumatickým řazením. Podle dostupných dat zde evidujeme určitý čas mezi rychlostními stupni. Tento čas se dá pojmenovat jako zpoždění při řazení. Z dostupných informací jsem určil průměrnou dobu řazení stupně 0,25 s a zakomponoval do modelu.



Obr. 32 Segmenty zpoždění při řazení z dostupných dat ze závodů

## 10.8 Výsledky z modelu

Po optimalizaci modelu je model schopen přinést požadované výsledky. Při optimalizování bylo zjištěno, že každý pilot řadí v odlišných otáčkách. Vybrala se tedy výchozí hodnota otáček stávajícího řešení monopostu, která se pohybuje okolo 10300 1/min. Tato hodnota byla také nejvíce přesná pro reálné řešení trati. Všechny simulace, které byly provedeny, jsou simulovány na dvou řešeních tratí. Z nich máme nejvíce dostupná data. Jedna trať je vymodelována z okruhu ve Španělsku a druhá z České republiky. Monopost FS.12, ze kterých pocházejí data, soutěžil i na jiných akcích, ale bohužel zde nepanovaly vhodné podnební podmínky pro měření. Naopak nejpřesnější výsledky jsou ze závodu ve Španělsku, jelikož zde byly stálé podmínky a trať leží ve všech segmentech ve stejné nadmořské výšce a je bez převýšení. Monopost v modelu zdolal segmenty této trati v čase 27.37 s s řazením při otáčkách 10300 1/min. Nejdříve byla simulována proměnlivost a vliv řadicích otáček. Bylo zjištěno, že pro minimalizování času je nejvýhodnější řadit až při otáčkách 12000 1/min, kde časy se stabilním sacím ústrojím z minulého roku byly zmenšeny o 0,36 s. Bohužel s vyššími otáčkami také souvisí zvýšená



spotřeba vozu. Ideálním řešením tohoto problému je řadit při rozdílných otáčkách v disciplínách. Jelikož neznáme bodově měřitelné hodnoty spotřeby. Musíme tuto problematiku detailněji otestovat při testování monopostu na zkušebních tratích. Jelikož ale známe vliv parametru řazení na spotřebu, jsme schopni dojít k závěru. V disciplínách akceleraace a autokros je spotřeba paliva nebodována. Tudíž v těchto disciplínách můžeme vůz nastavit na maximální výkon i otáčky. V disciplíně endurance je tato výkonová výhoda modelem nespočitatelná. Musíme zde tedy provést testovací sérii, při které budeme hodnotit bodový nárůst za rychlost ale bodový pokles za spotřebu.

Otáčky při kterých byl řazen další rychlostní stupeň			
Stabilní sací trakt	10300	27.37 s	čas na kolo stávajícího řešení
	11000	0.197 s	čas který byl ušetřen na jednom kole
	11500	0.295 s	
	12000	0.36 s	

Tab. 6 Výsledky časů modelu se stávajícím sacím ústrojím a rozdílnými otáčkami řazení

### 10.9 Výsledky z modelu v porovnání sacího ústrojí

Hlavním důvodem sestavení modelu byl přínos úprav monopostu pro závody. Přesněji v našem případě přínos jiného, případně variabilního, sacího ústrojí. Jelikož stabilní délka sacích nátrubků byla v předchozích letech správně optimalizována na délku 187 mm, jiná možná zástavbová délka nám žádné ušetření času v kole nepřinese. Byla tedy po simulacích v programu GT-Power navrhnutá výkonová a momentová křivka variabilních sacích nátrubků. Tyto parametry byly vneseny do modelu a simulovány. Přínos na jedno měřené kolo je oproti stabilnímu sacímu systému až 0,3 s v závislosti na řadících otáčkách.



Plně variabilní sací trakt však s sebou nese mnoho obtížných řešení. Proto by bylo nejlepší variabilní sací trakt zjednodušit. Po důkladném prozkoumání výsledků byla zjištěna možná varianta třístupňového variabilního sacího traktu. Sací trakt by byl měněn ve třech stupních. Tato varianta byla taktéž simulována a výsledek je až srovnatelný s plně variabilním sacím systémem. Čas na jedno kolo s plně variabilním sáním je pouze o 0,015 s menší, a to je při méně složitém a nákladném řešení zanedbatelný čas. Třístupňové sání by tedy v porovnání se stabilním řešením bylo lepší až o 0,3 s na jedno měřené kolo, což je v celkovém závodě endurance až 6 s. Závisí taktéž na pilotovi, zkušenější pilot by dokázal z přínosu vytěžit i více. Taktéž byla modelem zjištěna úspora při řazení. Pomocí modelu jsme zjistili, že spolu s variabilním sáním máme možnost odemknout potenciál monopostu až o 0,6 s na kolo, což je například v disciplíně autokros posun o několik přiček. Taktéž byla simulována disciplína akcelerace, která je v simulaci oproti stávajícímu řešení zajata až o 0,1 s rychleji. Nutno opomenout, že všechny simulace variabilních sacích traktů byly provedeny s nárůstem váhy kompenzující variabilní systém. Výsledky na tab.7 jsou ze simulace závodu ve Španělsku. U simulací jiných tratí jsme dostávali podobná data, vždy se však jednalo o maximální ušetření času v rozmezí 0,45 s až 0,65 s.

Druh sání	otáčky řazení	simulovaný čas na kolo	ušetřený čas na 1 kolo
Stabilní sací trakt	10300	27.371 s	0 s
	11000	27.173 s	0.197 s
	11500	27.076 s	0.295 s
	12000	27.011 s	0.36 s
Variabilní sací trakt	10300	27.153 s	0.218 s
	11000	26.977 s	0.411 s
	11500	26.864 s	0.506 s
	12000	26.800 s	0.571 s
Variabilní 3-stupňové sání	10300	27.167 s	0.203 s
	11000	26.990 s	0.396 s
	11500	26.880 s	0.491 s
	12000	26.815 s	0.556 s

Tab. 7 Porovnání časů simulace stávajícího řešení s variabilním sacím traktem.



## 10.10 Reálný dopad na výsledky v závodech

Ze simulací časů na jedno měřené kolo jsme dosáhli požadovaných výsledků. Je však zřejmé, že musíme zjistit reálný dopad zlepšení. Například ve světě Formule 1 by každý tým byl schopen zaplatit mnoho miliónů korun za zlepšení o 2 desetiny sekundy. Ve světě Formule Student se však pohybujeme v rozdílných časových hodnotách. Každý tým má omezený a velmi malý rozpočet. Každá investice se tedy musí pořádně promyslet a zhodnotit. Potenciál monopostu, který jsme schopni odemknout, je tedy v průměru v závislosti na trati 0.55 s. Čistě variabilní sací trakt nám je schopen přinést ušetření času až 0,3 s. Abychom byli schopni určit přínos, musíme porovnat simulovaná data s výsledky ze závodů. Z analýzy historických výsledků můžeme usoudit, že přínos by byl nezanedbatelný. Například minulý rok na závodech FS East 2021 v Maďarsku by přínos vylepšení znamenal umístění na druhém místě a přeskočení velice renomovaného týmu Rennteam Stuttgart. Pokud se koukneme na jiné výsledky minulých let (některé jsou v příloze) zjistíme, že přínos by samozřejmě znamenal vždy nárůst bodů, ale také by často znamenal lepší umístění v disciplíně. Bavíme se zde o třech disciplínách Autokross, akcelerační, endurance. Další bodové zisky můžeme připočítávat statické disciplíně design. V tomto ohledu se tedy vylepšení vyplácí, proto jsem se rozhodl vytvořit model a zkonstruovat variabilní sací trakt.

[22] [23]

Team name	Car	Race time inc.pen.	Score	Place
Rennstall Esslingen	94	1352,159	325,0	1
Rennteam Uni Stuttgart e.V.	290	1397,284	286,2	2
CTU CarTech	233	1408,502	277,0	3
FaSTTUBe	313	1441,735	250,4	4
PWR Racing Team	311	1486,524	216,5	5
UPBracing Team e.V.	58	1528,265	186,6	6
TU Brno Racing	74	1596,049	141,5	7
Aristotle Racing Team	14	1612,767	130,9	8
PRz Racing Team	133	1632,372	118,9	9
Centaurus Racing Team	73	Disqualified	25,0	10
AAU Racing	18		0,0	11
Aixtreme Racing	571		0,0	11
Arrabona Racing Team	79		0,0	11
BME Motorsport	194		0,0	11
Cerber Motorsport	70		0,0	11
Estaca Formula Team	278		0,0	11
HAWKS Racing	69		0,0	11
High-Octane Motorsports e.V.	247		0,0	11
joanneum racing graz	21		0,0	11
Polimarche Racing Team	10		0,0	11
Road Arrow Combustion Team	35		0,0	11
Tampere Formula Student	178		0,0	11
TU Istanbul Racing	34		0,0	11
UNI Maribor Grand Prix Engineering	335		0,0	11

Obr.33 Výsledky závodu endurance v závodě FS East 2021 [22]



## 11. Sací ústrojí

### 11.1 Základní parametry traktu

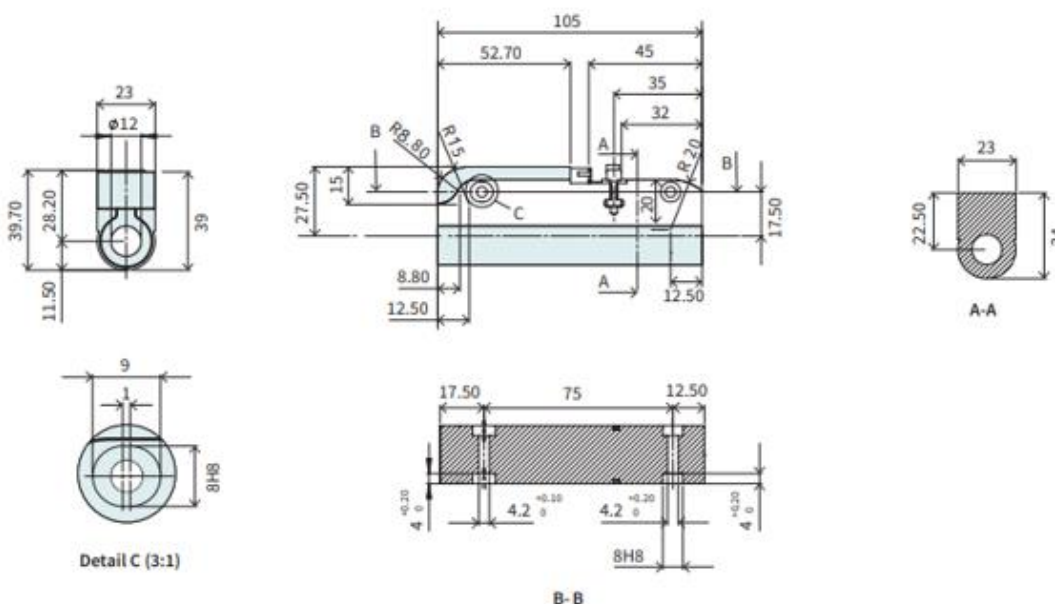
Z dostupných simulovaných dat, které jsme získali, je nutno vybrat typ variabilního sání. Po konzultaci s ostatními členy týmu CTU Cartech jsme dospěli k závěru, že jako nejlepšimu řešení pro řízení proměnné délky sacích kanálu bude vyhovovat třístupňový sací trakt. Ze simulovaných dat jednoznačně vyplývá, že přínos plně variabilního, oproti třístupňovému ústrojí, je minimální. Proto bude výhodné jít cestou tří stupňů, jenž jsou lépe ovladatelné pomocí řídicí jednotky. Budeme také moci lépe pochopit problematiku při testovacích procesech vozu. Do budoucna je však možné, aby úprava na plně variabilní sání byla možná. Z tohoto důvodu bude nejlepší, aby všechny komponenty na sacím traktu byly schopny jak tří stupňů, tak plné variability. Tři stupně se tedy budou skládat z délky nátrubků 240 mm 185 mm a 160 mm. Tyto tři stupně musí být schopny také do přechodu plné variability, tudíž se bude jednat o princip zasouvání nátrubků do sacích kanálů. Klapkový způsob zde není možný, poněvadž je omezen na určitý počet různých kanálů a to při plně variabilní složce není možné. Taktéž nemůžeme použít natáčecí variabilní trakt. Pro motorovou jednotku řadový čtyř-válec je toto uskupení nevýhodné a používá se pouze pro motory s válci do V.

### 11.2 Pohon variability sacího traktu

Základní a nejdůležitější součástí variabilní složky v traktu je pohon proměnné délky nátrubků. Jelikož se bude jednat o zasouvání nátrubků do sacích kanálů, musíme najít vhodný servomotor, který je schopný přesouvat hmotu po jedné ose. Taktéž je nesmírně důležité, aby přesun ze stupně A do stupně B trval velmi krátkou dobu. Z dostupných dat vyplývá, že mezi otáčkami 7000 1/min a 9000 1/min je pouze 1,5s. Znamená to tedy, že pokud chceme, aby přínos byl co nejvíce podobný simulovaným datům, musíme čas proměny zkrátit co nejvíce. Z těchto hledisek je nejlepší způsob lineární servomotor. Jelikož pro závody od roku 2022 tým CTU Cartech vyvíjí hybridní pohon, je možné servomotor na voze zapojit na dva možné okruhy. První okruh je okruh standardní baterie s napětím 12 V. Druhý okruh vychází z baterie hybridního pohonu s napětím 48 V. Z potřebných možných parametrů byl vybrán vysoce výkonný servomotor LinMot P01-37Sx60/60x80-HP. Tento servomotor umožňuje plně variabilní vysunutí posuvníku. Vysunutí je také velice rychlé, bez



zátěže se jedná o 4,9 m/s a při plné zátěži 3,2 m/s. To znamená, že do maximální požadované délky sacího ústrojí se vysune v plné zátěži i s odezvou za pouhých 0,1 s. Tento servomotor musí být poháněn hybridní baterií 48 V. Taktéž bylo hlavní hodnotící hledisko zástavbové rozměry. Tento aktuátor je má velmi malé a nijak neovlivňují ostatní parametry sacího traktu. Důležitou součástí je taktéž detekce pozice. Servomotor dokáže sám detekovat svoji pozici vysunutí s přesností na 0,7 %. Tato vlastnost nám vyřeší také problém s pozicováním vysunutí jak u stupňového či plně variabilního sacího traktu. Servomotory touto vlastností většinou neoplývají a jedná se o jasnou výhodu tohoto typu motoru, která nám ušetří jak zástavbové rozměry, tak i výběr potencionálního měřícího prvku, například potenciometru. Na LinMot servomotoru jsou také navrženy uchycovací body. Body nám usnadní zástavbu na plénum sacího traktu. [24]

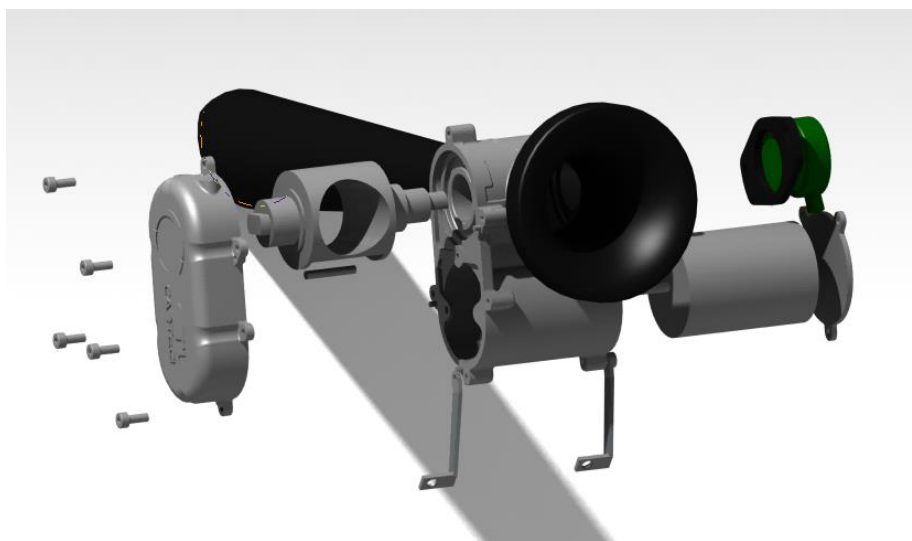


Obr.34 rozměry a fotografie servomotoru LinMot [24]



### 11.3 Škrtící klapka a vstupní ústrojí do pléna

Škrtící klapka se sacím nátrubkem na sacím ústrojí je každým rokem zdokonalována. Dříve tým CTU Cartech používal škrtící klapku s motýlkovým škrtícím elementem. Z důvodu lepšího průtoku při maximálním zatížení byl motýlkový element nahrazen válečkovým škrtícím elementem s dírou. Tvar nátrubku a tvar sací trubice v místě restriktoru byl zdokonalen a simulován Ing. Ondřejem Císařem. Jedná se o konvergentně-divergentní trysku. Úhel kužele před restriktorem je  $7^\circ$  a za restriktorem  $6^\circ$ . Tato tryska byla simulována a zdokonalena, aby nedocházelo ke kolmé rázové vlně (stav při kterém dochází k poklesu průtoku tryskou z důvodu vyrovnání tlaku před restriktorem a za ním na straně expanze). Maximální průtok restriktorem stanovila simulace na  $0,0728 \text{ kg/s}$  viz. příloha. Pro naše účely byl zanechán tvar, pouze uchycení bylo modifikováno pro naše sací plénum. Taktéž bylo zjištěno, že sací filtr vlastní výroby má na ztráty sacího potrubí zanedbatelný vliv, proto je bezpečné ho nadále používat. Sací trubice je vyrobena z uhlíkového vlákna, stejně jako nátrubek před škrtící klapkou a skelet filtru. Součástí sestavy je také restriktor, který musí být vyroben s přesahem. Důvod je zřejmý, restriktor musí mít průměr nejméně 20 mm za každých podmínek, byl tedy vypočítán průměr 20R7 při  $15^\circ\text{C}$ . Škrtící mechanismus je pro vůz FS.14 navržen s elektrickým pohonem. Jedná se o koncept elektrické škrtící klapky. Jestli bude použita při závodech, určí až testovací období, přičemž je stále možnost montáže manuální lankové škrtící klapky na sací trubici. Škrtící element také obsahuje dvě vratné pružiny, které vrátí škrtící klapku do zavřené polohy, pokud by nastala nějaká porucha. Nesmíme opomenout kotvící systém na zadní rám vozu. [5]



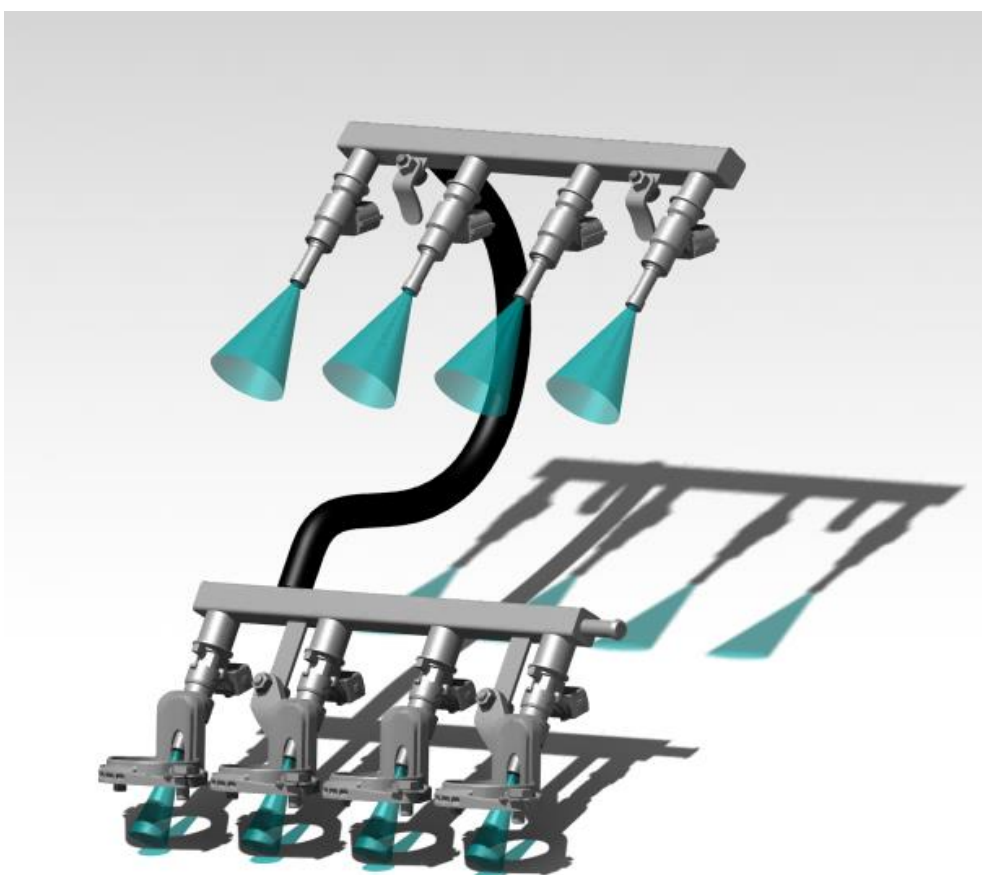
Obr.35 Škrtící mechanismus sacího traktu s nátrubkem a tryskou





#### 11.4 Vstřikovací systém

Palivový systém monopostu procházel v minulých letech řadou úprav. Bylo potřeba upravit rozmístění, tvar nádrže a také čerpací systém s vedením. Podrobněji jsem se tomuto tématu věnoval v bakalářské práci. Vstřikovače byly po podrobné analýze Ing. Markem Erdéliym změněny ze sériových Yamaha R6 vstřikovačů na vstřikovače Bosch Motorsport EV14 varianta CKxT – 0 280 158 038. Tyto vstřikovače nám umožnily lepší zástavbové rozměry, upravily kužel vstřiku, zmenšily hmotnost vozu a zmenšily riziko tvorby bublin z benzínových par. Vstřikovače, primární a sekundární, jsou přichyceny na zásobnících pomocí spony těsnící O-kroužkem. Zásobníky jsou z hliníku ve tvaru obdélníku. Na koncích jsou zavařeny metodou TIG. Hadice k palivovému systému vyhovují pravidlům Formula Student a jsou proti otěrové a odolné 120°C. Přichyceny jsou sponami s objímkou 360° s jistícím šroubem a matkou, dle pravidel. [7]



Obr. 36 Vstřikovací systém FS.14



### 11.5 Sací kanály s nátrubky

Sanice, neboli „runner“, oproti minulým ročním řešením musí mít rovnou část. Důvod je prostý, dovnitř se musí dát lehce zasunout variabilní část nátrubku. Pokud by runner nebyl v určité části rovný, musela by tyč vedoucí od servomotoru mít 2° volnosti a nepohybovat se pouze v jedné ose ale i v úhlu. Pokud by tomu tak nebylo, musel by být v ukotvení pohyblivých nátrubků volný prvek umožňující další pohyb pomocné tyče neboli slideru. Horní část nátrubků je navržena tak, aby je bylo možné vyrobit z uhlíkových vláken. Spodní část nátrubků musí být vyrobena z hliníku. To umožní obrobřit vnitřní i vnější část spodního nátrubku do hladkého povrchu. Hladký povrch vně způsobí plynulý posuvný pohyb horní části nátrubku. Hladký povrch uvnitř předejde velkým ztrátám proudící směsi s povrchem sacího kanálu. Vnější obal je nosičem celého sacího traktu. Hliníková vložka je dovnitř vlepena pevnostním lepidlem Loctite 9466. K tomuto kroku je třeba vyrobit přípravek, který správně vystředí hliníkovou vložku v plášti nátrubku.



*Obr.37 Plášť runneru s hliníkovou vložkou*

Na hliníkovou vložku je nasazen pohybující se nátrubek. Ten je taktéž vyroben z uhlíkového vlákna, musí se však dbát na jeho přesnost a hladkost, aby patřičně klouzal po hliníkové vložce. Z tohoto důvodu musí být nátrubek vyroben způsobem, který obsahuje vnitřní formu nátrubku. Destička spojující nátrubky musí být vyrobena z trojnásobného



počtu vrstev uhlíkového vlákna než ostatní díly sacího traktu. Následek bude malá investice do hmotnosti, který se nám však vrátí větší pevností. Destička se tak nebude deformovat a zaručí nám stejný posun všech nátrubků. Na vnějším plášti jsou navrženy přesahy, aby celá sestava nátrubků mohla být vlepena vnitřně do sacího pléna a taktéž rovné válcové plochy na vlepení hliníkových vložek lepidlem Loctite 9466. Z dolní strany jsou pláště přilepeny k držákům s jejichž pomocí je sací trakt přikotven k motoru.



*Obr.39 Sestava sacích runnerů v maximální délce*

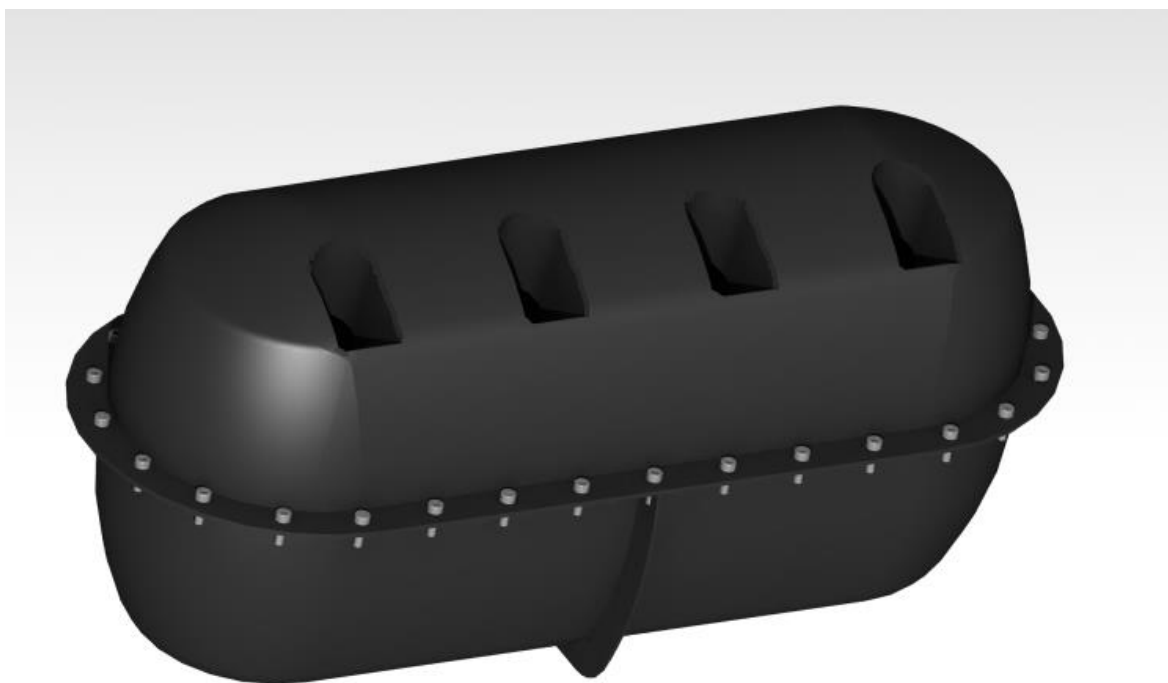


*Obr.38 Komponenty sestavy runnerů*



## 11.6 Sací plénum

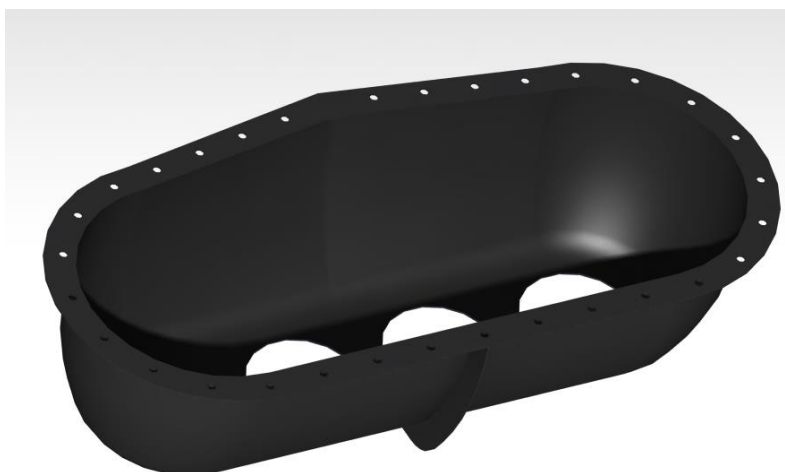
Největší součástí sacího traktu je sací plénum. Jedná se o vzduchový zásobník, do kterého ústí sací trubice se škrtkící klapkou. Z pléna tak vystupují čtyři sací runnery. Plénum musí být dostatečně velké, aby dokázalo v sacím traktu hrát roli okolního rozhraní. Z hlediska rezonančního přeplňování je toto důležité, od tohoto rozhraní se totiž odráží sekundární tlaková vlna způsobující přetlak před ventilem. Pokud budeme vycházet ze sacích traktů minulých let zjistíme, že nejideálnější sací trakty byly s objemem větším než 4,4l. Jelikož jsou použity variabilní sací kanály, objem sacího pléna bude přesahovat tuto hodnotu. Taktéž po odborné analýze a simulaci Ing. Ondřeje Císaře víme, že sací trakt s bočním vstupem je velmi nevýhodný. Dochází k nerovnoměrnému plnění válců a taktéž je třeba dlouhý přívodní sací kanál od škrtkící klapky. Ten je problematický z důvodu kolmé rázové vlny. Naopak plénum se vstupem uprostřed je možné naladit na velmi podobné plnění válců, přičemž při sacím cyklu válce se v plénu utvoří vír. Vznik víru je výhodný i z hlediska plnění válců, ze simulací vyplývá rozdíl plnění válce pouhé 1 %. Porovnání simulace sacího cyklu s přívodem na straně a uprostřed vytvořené bývalým členem je v příloze.



*Obr.40 Sestava sacího pléna*



V sacím plénu se také vlivem nasávání směsi motorem tvoří podtlak. Tento podtlak způsobuje vnější přetlak. Sací plénům můžeme uvažovat jako nádobu. Z tohoto důvodu bylo sací plénům zakřiveno tak, aby nedocházelo k průhybům stěn pléna. Při zakřivení se vyházelo z dřívějších řešení sacího pléna. Plénům je rozděleno na horní a dolní část. Tyto části jsou navzájem sešroubovány do sebe pomocí postranních žeber obou částí. Šroubení slouží hlavně jako servisní otvor. V předešlých letech bylo sací plénům lepeno, avšak zde lepení nemůžeme použít z důvodu nutnosti servisu variabilního uskupení. Taktéž bylo na dolní část pléna přidáno žebrování, které také napomůže k stálosti tvaru pléna. Horní část pléna obsahuje kapsy pro sekundární vstřikovače. Tyto kapsy musely být vytvořeny z důvodu zástavbové obálky. Bez nich by sací trakt nebyl schopen se do této obálky směstnat. Do spoje mezi horní a spodní část umístíme těsnění zakázkové výroby.



*Obr. 42 Spodní část sacího pléna s žebrováním*



*Obr.41 Horní část sacího pléna s kapsami pro vstřikovače*



### 11.7 Zalaminované a vlepené příruby

Abychom byli schopni na povrch laminované komponenty připevnit jinou komponentu, musíme nejdříve zajistit přírubu, pomocí které bude možné ukotvení. Přímo do povrchu uhlíkových vláken nelze totiž nic upevnit. Tyto příruby jsou do těchto uhlíkových povrchů přímo laminovány (inserty) nebo vlepeny. V našem sacím plénu je potřeba zajistit ukotvení vstřikovačů, tlakového senzoru a servomotoru. Sekundární vstřikovače potřebují přírubu, se kterou budou utěsněny pomocí O-kroužku. Příruby budou pak vlepeny do kapes horní části sacího pléna. Jedná se o soustružené hliníkové kroužky (příloha). Příruba, do které je možné zašroubovat tlakový senzor, bude vyrobena pomocí CNC frézy. Příruba musí být přímo zalaminována do pléna při výrobě. Přilepen musí být také držák servomotoru. Vlepen bude plochou částí zevnitř spodního pléna sání. Z důvodu složitosti tohoto dílu bude díl vyroben pomocí selektivního sintrování laserem. Tato technologie výroby je poskytnuta týmu CTU Cartech jako sponzorský dar. Sintrované musí být také příruby na spodních částech runnerů, které byly navrženy bývalými členy teamu. Pro naše využití byl tvar drobně upraven. Příruby slouží jako uchycení vstřikovačů, ale i jako ukotvení sacího traktu k hlavě motoru. K tomu jsou použity také pojistné podložky, které je třeba řádně zdeformovat tak, aby podléhaly pravidlům Formula Student.



*Obr.43 Příruby kotvící sací systém k hlavě motoru sloužící i jako držáky vstřikovačů*



## 11.8 Výroba

Sací trakt musí vyhovovat výrobním technologiím které je team CTU Cartech schopen zajistit. Výroba celého sacího traktu se uskuteční přímo v dílnách týmu. Uhlíkové díly jako je sací plénium, sací tryska, nátrubek před škrtkící klapkou, torzo filtru, sací nátrubky, pláště sacích kanálů a držák pohyblivých sacích nátrubků budou vyrobeny laminováním uhlíkových vláken. Z pevnostních důvodu je zvolena prosycená uhlíková tkanina prepreg typ Sigratex-CE-8201-200-45S. Nejdříve se u těchto dílů musí vysoustružit forma na CNC stroji. Tyto formy bývají často z umělého dřeva. Forma na sací trysku je vyrobena z leštěného hliníku. Zde, kolem restriktoru, jsou nejvyšší nároky na hladkost povrchu, jelikož tlakové ztráty závisí na rychlosti a drsnosti povrchu. Poté se musí formy řádně zbrousit do hladkého povrchu. Následuje nanesení laku. Po dokončení formy jsme schopni přejít k laminaci, nejdříve musíme povrch řádně naseparovat. Poté nanášíme vrstvy prepregu. Počet vrstev vychází z dlouholetých zkušeností. Na pohyblivé nátrubky a sací trysku použijeme 3 vrstvy, na plénium a pláště sacích kanálů použijeme 4 vrstvy. Tkaninu maximálně možně dotlačujeme do rádiusů. Pokud bychom tak neučinili, výsledný produkt by nekopíroval přesně povrch formy a nastal by zde únik pryskyřice při vytvrzování. To by způsobilo nevhlednost rádiusu, ale také přílišnou prodyšnost materiálu. Po nanesení všech vrstev a dotlačení musíme výrobek zabalit do těsnících igelitů a nechat vakuovat. Dále při stálé vakuaci tvrdíme výrobek v peci při 80 °C po dobu 10 hodin. Následně komponenty zkontrolujeme, obrousíme přebytky uhlíkových vláken a lepíme do sebe lepidlem Loctice 9466. Lepené spoje je také třeba vytvrdit v závislosti na teplotě.



*Obr.44 Spodní forma na sací plénium*



## 11.9 Lepené spoje a jejich pevnost

Z finálního modelu vyplývá že bude na mnoho součástí sacího traktu použita technologie lepení. K tomuto účelu budeme používat prověřené lepidlo Loctite 9466. Lepené spoje jsou vždy kritickým místem. V těchto místech musíme být extrémně opatrní při návrhu. Nejvíce kritickým místem je lepený spoj u držáku vstřikovače. Zde je celý sací trakt připevněn pomocí lepeného spoje pláště runnerů s držákem vstřikovače (spoj A). Další kritické místo je spoj pléna a pláště runnerů (spoj B). Tyto spoje je třeba překontrolovat výpočtem, zda není lepicí plocha příliš malá. Třeba dodat, že členové týmu CTU Cartech mají speciální školení na lepení lepidly Loctice, lepení pak bude probíhat správným způsobem tak, jak společnost předepisuje. Pevnost v smyku je podle datasheetu (příloha) 5 N/mm<sup>2</sup>. Pevnost v tahu je o jednotky procent vyšší. Po získání lepicí plochy z modelu jednoduchým výpočtem zjistíme že pro spoj A platí:

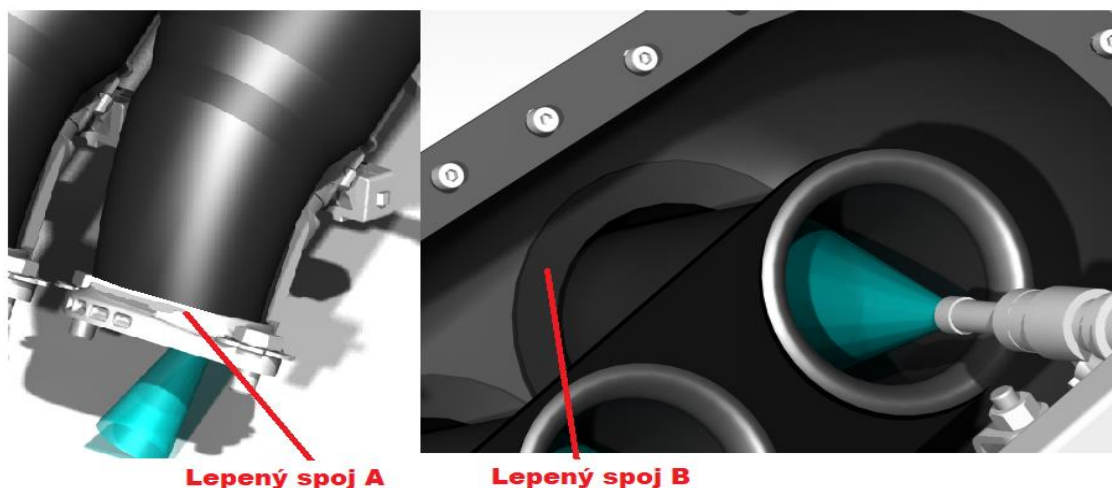
$$F = 4 * S_A * \sigma = 4 * 1313 * 5 = 26260 \text{ N} \quad (11)$$

Pro spoj B platí:

$$F = 4 * S_B * \sigma = 4 * 1636 * 5 = 32720 \text{ N} \quad (12)$$

Lepené spoje se tedy zdají být předdimenzovány z hlediska pevnosti. Abychom toto tvrzení potvrdili musíme se zamyslet nad silami působící na tento spoj. Hmotnost celého sacího systému jsou 3 kg. Z dat získaných ze závodů vyplývá že maximální zrychlení působící na monopost je 3G. Pokud budeme uvažovat extrémní případy a sací trakt bude čelit extrémní dynamické situaci na trati, budeme uvažovat zrychlení trojnásobné. Spoj bude zatížen silou o velikosti 265 N. Z tohoto vyplývá že spoj je velmi silný na působící zatížení. Toto je však pouze teoretická pevnost při správném vytvrzení a v ideálních stavech. Monopost během závodů zažívá tvrdé podmínky včetně vibrací a jiných vnějších vlivů. Je tedy potřeba sací trakt řádně otestovat v jízdních podmínkách. Také je třeba všechny spoje a celý systém po i před jízdou kontrolovat.

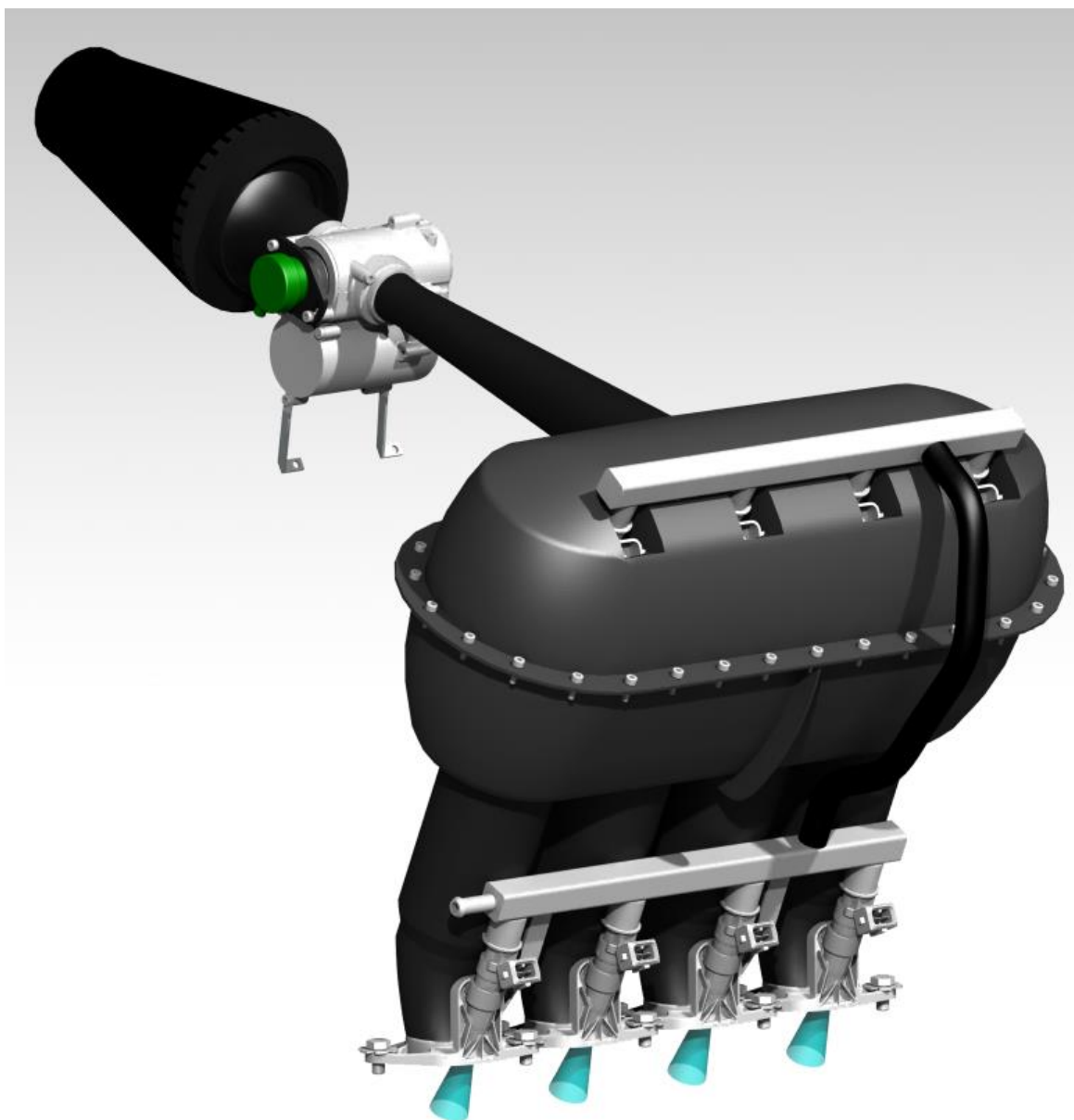




Obr.45 Lepené spoje A a B

#### 11.10 Cenové a hmotnostní srovnání.

Stabilní sací systém z minulých let disponuje nízkou hmotností. Variabilní sací systém se stabilnímu nemůže, s ohledem na hmotnost, rovnat. Celá sestava stabilního sacího traktu má hmotnost 1500 g. Variabilní ústrojí disponuje více komponentami a hlavní příspěvek hmotnosti je elektrický lineární aktuátor. Se všemi komponenty má variabilní sací sestava 2800 g. Simulace pro přínos času na kolo byly prováděny s odhadem 1500 g navíc. V tomto ohledu máme tedy rezervu. Ekonomické srovnání je podobné. Největší finanční investici stojí servomotor a to 700\$. Na rozdíl od minulých let budou muset být vyrobeny i nové formy na sací plénium a kompletně nové formy na nátrubky a plášť. Cena variabilního sacího traktu bude tedy, podobně jako hmotnost, dvojnásobná od stabilního ústrojí. Tyto investice nám přinesou lepší zjeté časy v závodech, více bodů z dynamických disciplín ale také více bodů z největší statické disciplíny, a to design monopostu.



*Obr.46 Variabilní sací trakt*



## 12. Závěr

Cílem této diplomové práce byla podrobnější studie variabilního sacího traktu pro monopost teamu CTU Cartech soutěže Formula Student. V první části práce jsem vyhotovil rozbor a seznámení s technikou monopostu. Následuje rešerše variabilních sacích systémů a systému používaných v soutěži Formula Student včetně jejich porovnání. Také byla potřeba formulace některých vztahů a uvědomění si vlivů na výkonnost vozu.

Z nutnosti získání výkonnostních dat motoru jsem upravil 1-D model motoru monopostu CTU Cartech. Upravením modelu jsem získal výkonnostní křivky motoru a jejich porovnání. Pomocí těchto dat jsem byl schopen optimalizovat a nastavit ideální průběhy délek nátrubků sacího traktu. Pro přínos času na definované závodní trati byl vytvořen specifický model v programu GT-Power. Ze simulovaných dat byl zjištěn přínos na kolo variabilního systému. Také byl odhalen potenciál monopostu s upraveným řazením a variabilním sacím traktem až 0,6 s na jedno měřené kolo. Po zhodnocení všech možností byl vybrán sací systém s třemi stupni variability s možností úpravy na plně variabilní systém. Tento model je také schopen, pomocí zadaných parametrů, srovnávat různé vylepšení motoru.

V poslední části bylo vytvořeno finální konstrukční řešení, které je připraveno k výrobě. Konstrukční řešení podléhá všem pravidlům soutěže Formula Student. Sací trakt byl zkonstruován na co nejlepší plnicí účinnost motoru. Komponenty finálního řešení byly vybrány a zkonstruovány s co nejvyšší možnou rychlostí změny délky sacího kanálu. Také byl brán ohled na servisovatelnost produktu. Všechny komponenty jsou dostupné a rychle vyměnitelné. Variabilní sací systém je s ohledem na minulé roky větší a má vyšší hmotnost. Hmotnost a cena produktu se zdvojnásobily. Přinesou však lepší výkonové parametry vozu. Ze simulovaných dat vyplývá zrychlení na jedno měřené kolo a zároveň zrychlení na akceleraci. To týmu zajistí větší bodový přísun na závodních akcích. Zajímavé konstrukční řešení také zajistí větší přísun bodu v hlavní statické disciplíně. Tato práce je psána v červenci roku 2022. Další ideální postup by měla být výroba sacího traktu a kompletní naladění na pohonnou jednotku monopostu.



### 13. Použitá literatura

- [1] HEYWOOD, J. B. Internal Combustion Engine Fundamentals. McGraw-Hill series in mechanical engineering, printed in USA. McGraw-Hill, 1988. ISBN 0-07-028637-X.
- [2] HROMÁDKO, Jan. Spalovací motory: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3475-0.
- [3] MACEK, Jan. *Spalovací motory*. 2. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2012. ISBN 978-80-01-05015-6.
- [4] YAMAHA. Service manual YZFR6X(C) 2008. 434 stran
- [5] CÍSAŘ, Ondřej. Návrh sacího traktu motoru Yamaha R6. Praha, 2016. Diplomová práce. ČVUT Fakulta strojní. 67 stran.
- [6] Čepěk, Richard. Optimalizace tvaru sání motoru pro formuli student Praha, 2018. Diplomová práce. ČVUT Fakulta strojní 75 stran.
- [7] Erdelyi, Mark. Optimalizace vstřikovacího systému pro studentskou formuli Praha, 2019. Bakalářská práce. ČVUT Fakulta strojní 38 stran.
- [8] Terber, Daniel. Sání s proměnnou délkou potrubí pro formuli týmu CarTech Praha, 2019. Diplomová práce. ČVUT Fakulta strojní 89 stran.
- [9] *Graf*. [online]. [vid.11.07.2022]. Dostupné z: <http://www.sportbikes.net/forums/attachments/newriders/200634d1278483064-can-someone-explain-torque-dif-between-sv650s-r6sr6-dyno.jpg>
- [10] *Formula SAE rules* [online]. [vid.11.07.2022]. Dostupné z: [https://www.formulastudent.de/fileadmin/user\\_upload/all/2022/rules/FS-Rules\\_2022\\_v1.0.pdf](https://www.formulastudent.de/fileadmin/user_upload/all/2022/rules/FS-Rules_2022_v1.0.pdf)
- [11] TICHÁNEK, Radek; VÍTEK, Oldřich. *Spalovací motory I cvičení*. 364 stran
- [12] Variabilní sací trakt. [online]. [vid.11.07.2022]. Dostupné z: <https://uosdesign.org/designshow2016/group-design-project/formula-student-powertrain/>
- [13] Variable intake manifold. [online]. [vid.11.07.2022]. Dostupné z: <https://premierautotrader.com.au/news/variable-intake-manifolds-and-intake-control-valves.php>
- [14] Variable intake manifold yamaha R6. [online]. [vid.11.07.2022]. Dostupné z: [https://www.motorcycledaily.com/2007/09/10september07\\_yamaha2008r6/](https://www.motorcycledaily.com/2007/09/10september07_yamaha2008r6/)
- [15] UW Racing tweet. [online]. [vid.11.07.2022]. Dostupné z: <https://twitter.com/uwracing/status/1359213465517359110>
- [16] Ctú cartech. [online]. [vid.11.07.2022]. Dostupné z: <https://ctucartech.cz/>



- [17] Ctu Cartech. [online]. [vid.11.07.2022]. Dostupné z:  
<https://cartech.cvut.cz/formula-student/>
- [18] Kajsrlík, Matyáš. Palivová soustava pro vůz Formula Student Praha, 2020. Bakalářská práce. ČVUT Fakulta strojní 46 stran.
- [19] OH YIDE, ANDRE Design and analysis of the intake systém of a formula sae car. 93 stran
- [20] Bmw intake. [online]. [vid.11.07.2022]. Dostupné z:  
[https://www.autozine.org/technical\\_school/engine/Intake\\_exhaust.html](https://www.autozine.org/technical_school/engine/Intake_exhaust.html)
- [21] Pavličík, Lukáš Sací potrubí jednoválcového motoru, Brno, 2014. Diplomová práce. VUT Fakulta strojní 100 stran
- [22] FS east results. [online]. [vid.11.07.2022]. Dostupné z:  
[https://fseast.eu/wp-content/uploads/2021/08/FS-East-2021\\_CV\\_Final.pdf](https://fseast.eu/wp-content/uploads/2021/08/FS-East-2021_CV_Final.pdf)
- [23] FSG results. [online]. [vid.11.07.2022]. Dostupné z:  
<https://www.formulastudent.de/fsg/results/2021/>
- [24] Linmot actuators. [online]. [vid.11.07.2022]. Dostupné z:  
<https://shop.linmot.com/E/linear-motors.htm>
- [25] Disa Valve. [online]. [vid.11.07.2022]. Dostupné z:  
<https://www.motortraders.net/articles/1394-bmw-m42-engine-technical-information-e36>
- [26] Fotografie FSCZ [online] dostupné z  
<https://fsczech.smugmug.com/Photo/2019/Saturday/i-4HLKbkV/A>



## 14. Seznam obrázků

Obr. 1 Monopost FS.12 [16] .....	11
Obr. 2 Tým CTU Cartech po výhře na závodě FSCZ.....	13
Obr. 3 Vnější obálka pro sací trakt [10] .....	14
Obr. 4 schéma umístění restriktoru [10] .....	15
Obr. 5 Rozdílné parametry motorů 2C0 a 13S [9] .....	17
Obr. 6 schéma klikového mechanismu [1] .....	19
Obr. 7 tlakové vlny v sacím traktu [19].....	24
Obr.8 využitelné délky sacích kanálů zhotovené Ing. Ondřejem Císařem [5].....	25
Obr. 9 sací trakt s nasáváním vzduchu nad hlavou řidiče [16] .....	26
Obr. 10 boční sání monopostu Formula Student [15] .....	27
Obr. 11 Sací trakt umístěn v dolní části za motorem [16] .....	27
Obr. 12 Dvoustupňový sací trakt Ctu Cartech [8] .....	28
Obr. 13 Plně variabilní sání bmw [20].....	29
Obr. 14 plně variabilní sání monopostu s vysouvajícími se nátrubky [12] .....	30
Obr. 15 schéma sacího traktu motoru V6 MB [13].....	31
Obr. 16 Variabilní sání Yamahy R6 [14] .....	31
Obr. 17 Sání vozu BMW 318IS s otevírací DISA klapkou pro vysoký výkon ve vysokých otáčkách [25] ..	32
Obr. 18 Sací trakt monopostu CTU cartech FS.13.....	33
Obr. 19 točivý moment starších sacích systémů změřen na brzdové stanovišti [5] .....	34
Obr. 20 Model GT-Power motoru CTU Cartech.....	35
Obr. 21 Porovnávací sací trakt na brzdovém stanovišti [5] .....	36
Obr. 22 Vizualní schéma modelu GT-SUITE .....	37
Obr. 23 Data z kola závodu Formula Student ve Španělsku .....	38
Obr. 24 Průběhy točivého momentu s různými délkami nátrubků .....	39
Obr. 25 Simulované délky nátrubků v GT-Power.....	40
Obr. 26 Porovnávací graf plně variabilního a třístupňového sacího pléna .....	41
Obr. 27 Pilový diagram nastavení převodové skříně v modelu .....	43
Obr. 28 schéma nastavitelných prvků vozu v modelu .....	44
Obr. 29 průběh otáček jednoho kola závodu endurance ve Španělsku .....	45
Obr. 30 Naměřené a simulované průběhy otáček motoru.....	47
Obr. 31 Porovnání simulovaných a naměřených rychlostí z modelovaného segmentu 1.....	48
Obr. 32 Segmenty zpoždění při řazení z dostupných dat ze závodů .....	49
Obr.33 Výsledky závodu endurance v závodě FS East 2021 [22].....	52
Obr.34 rozměry a fotografie servomotoru LinMot [24] .....	54
Obr.35 Škrťící mechanismus sacího traktu s nátrubkem a tryskou .....	55
Obr. 36 Vstřikovací systém FS.14.....	56
Obr.37 Plášť runneru s hliníkovou vložkou.....	57
Obr.38 Komponenty sestavy runnerů.....	58
Obr.39 Sestava sacích runnerů v maximální délce .....	58
Obr.40 Sestava sacího pléna.....	59
Obr.41 Horní část sacího pléna s kapsami pro vstřikovače .....	60
Obr. 42 Spodní část sacího pléna s žebrováním .....	60
Obr.43 Příruby kotvící sací systém k hlavě motoru sloužící i jako držáky vstřikovačů.....	61
Obr.44 Spodní forma na sací plénum .....	62
Obr.45 Lepené spoje A a B.....	64
Obr.46 Variabilní sací trakt .....	65



## 15. Seznam příloh

Příloha č.1 Výkres sestavy variabilního sacího traktu

Příloha č.2 Renderované obrázky sacího traktu

Příloha č.3 Výsledky simulací jednoho měřeného kola

Příloha č.4 Výsledky simulací pléna a vstupní trysky provedeny Ing. Ondřejem Císařem

Příloha č.5 Příklady výsledků z jednotlivých disciplín ze závodu FS.East

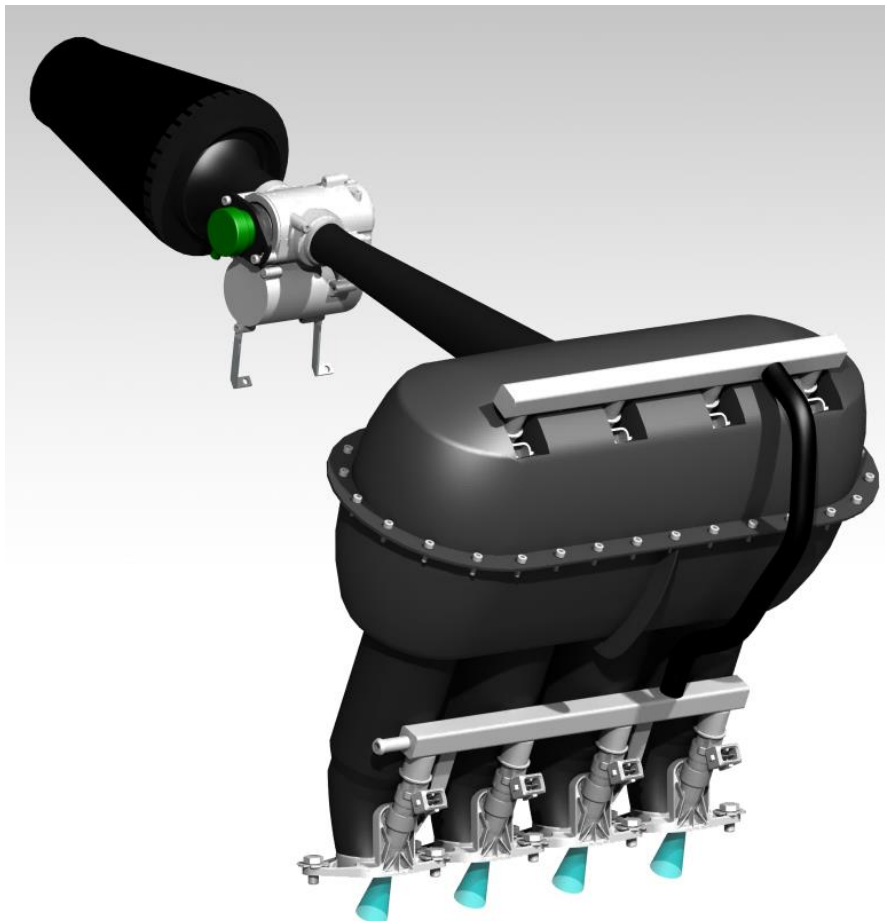
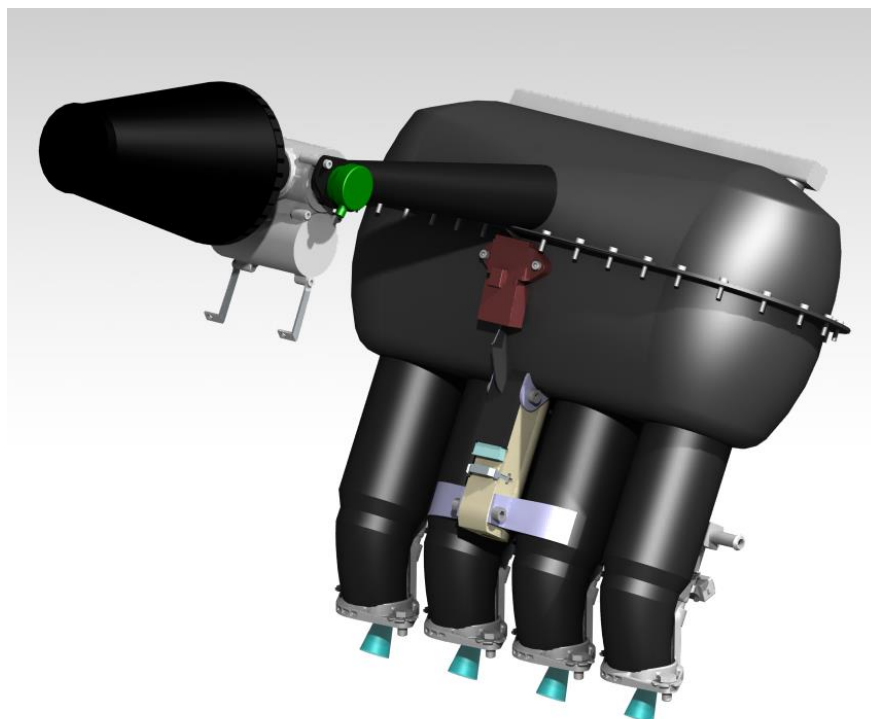
Příloha č.6 Datasheet Lepidla Loctite 9466

Příloha č.7 Technická data aktuátoru Linmot

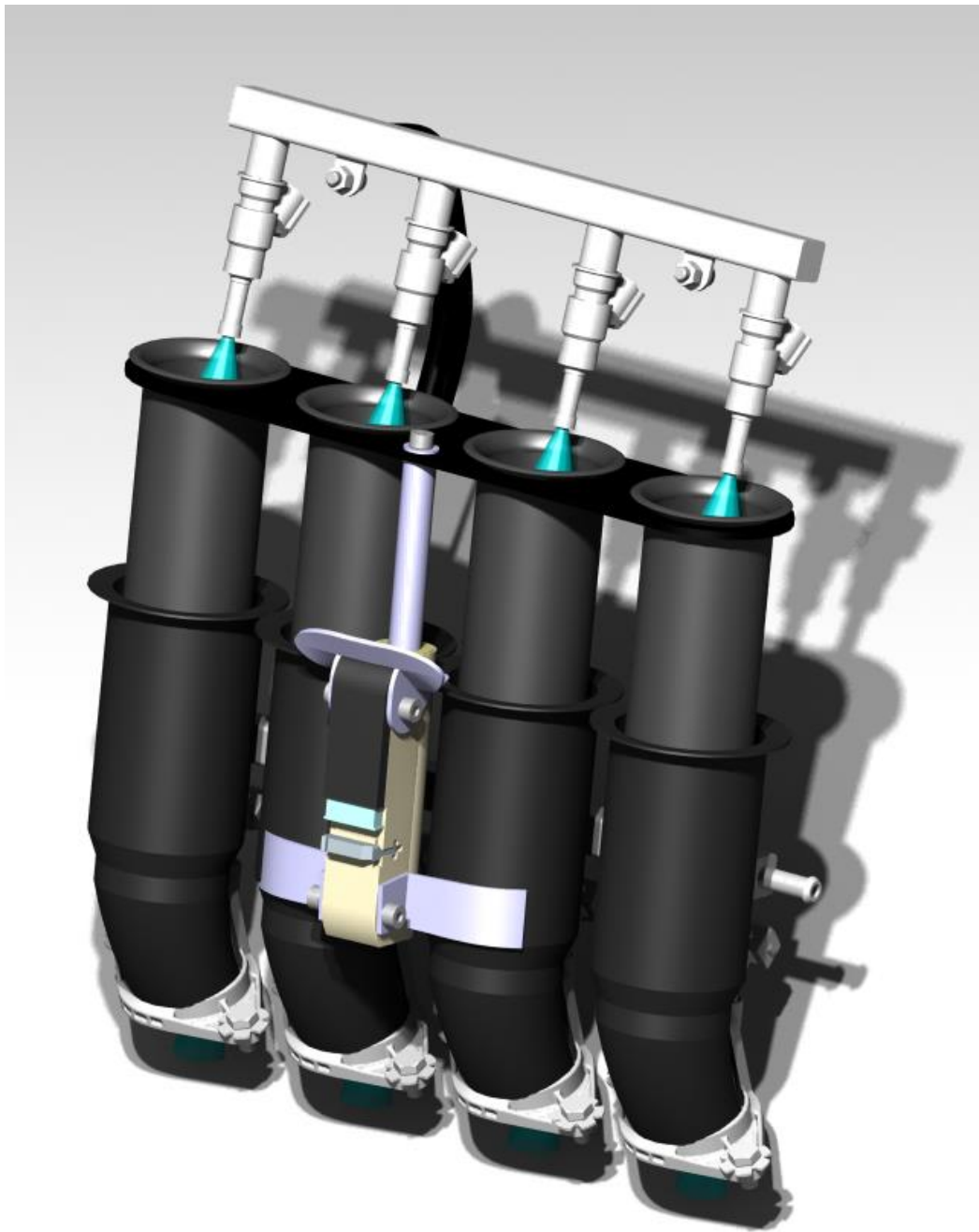
Příloha č.8 Výkresová dokumentace lepených spojů



## Příloha č.2 renderované obrázky modelu sacího traktu









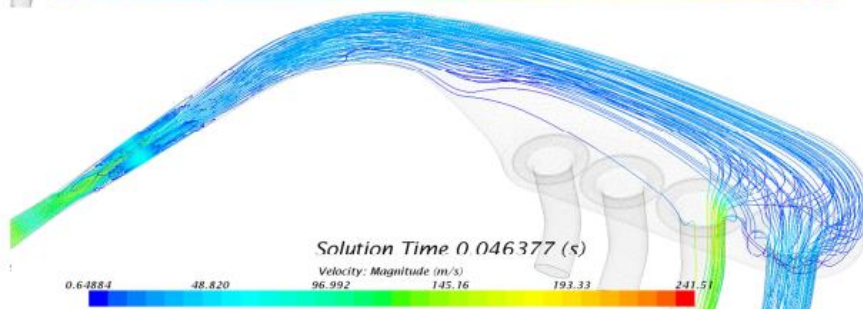
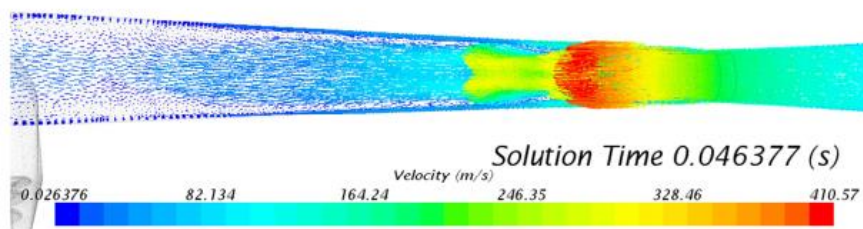
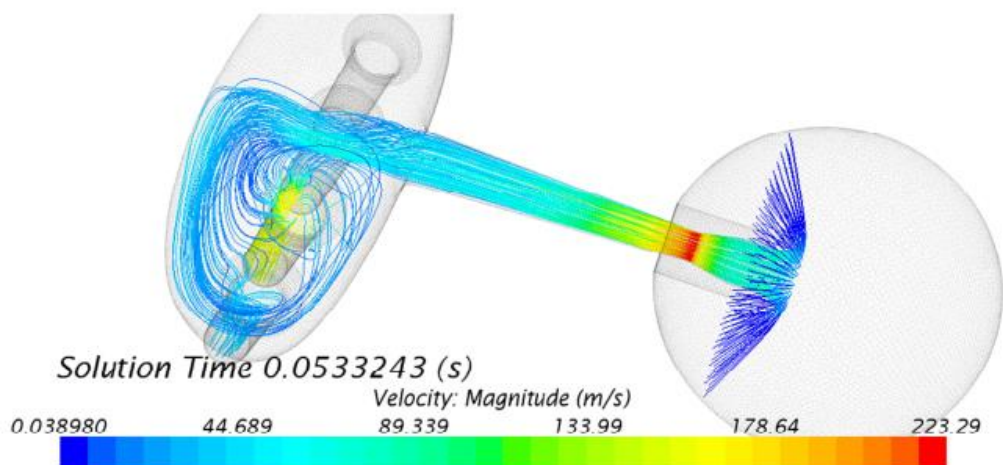
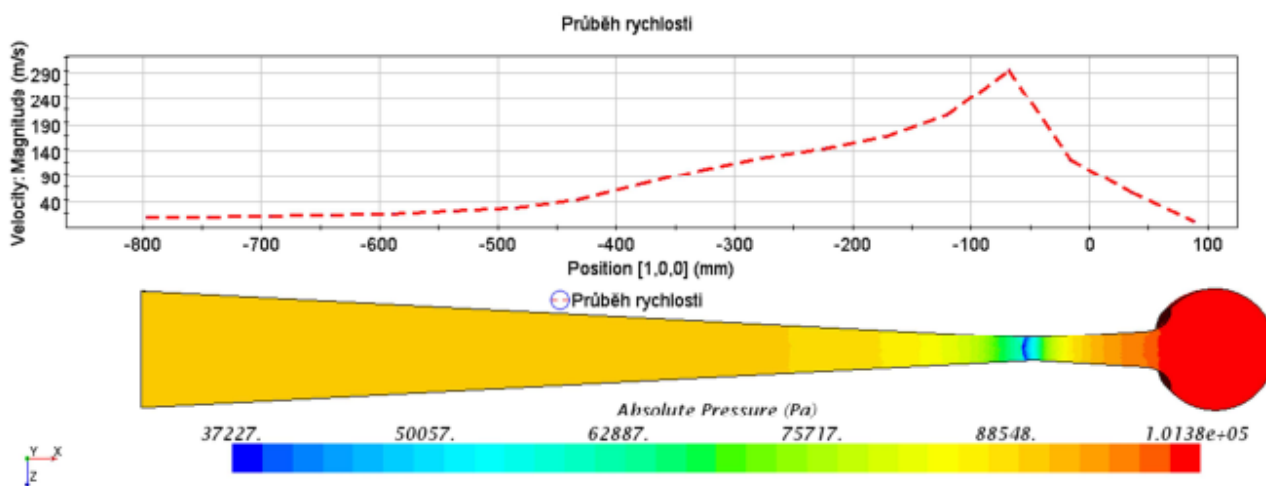
### Příloha č.3 Výsledky simulací, segmenty jednoho měřeného kola

10300	3.2650337	1.3866206	1.3723	1.5033	1.919109	0.8846	2.2378	1.55944	0.98691	1.91939	2.3953872	1.13753	time [s]	27.3706179	
	89.497086	80.59902	70.812	78.642	80.12342	58.785	78.887	67.2643	69.6995	80.5873	84.696236	82.9555	velocity [km/h]		76.9
11000	3.208935	1.3859916	1.36205	1.5033	1.903438	0.8846	2.2227	1.54045	0.98691	1.90566	2.3846045	1.13753	time [s]	27.1732584	
	90.83279	81.98336	71.8971	78.642	80.81461	58.785	79.594	69.383	69.6995	81.0377	86.123024	82.9555	velocity [km/h]		77.6
11500	3.1783347	1.3859916	1.36012	1.5033	1.895109	0.8846	2.2146	1.53139	0.98691	1.89801	2.383547	1.13753	time [s]	27.0760014	
	91.4043	81.98336	74.2768	78.642	81.15443	58.785	79.933	69.6551	69.6995	81.2714	87.87533	82.9555	velocity [km/h]		78.1
12000	3.1588495	1.3859916	1.36012	1.5033	1.888585	0.8846	2.2083	1.52424	0.98691	1.89164	2.383547	1.13753	time [s]	27.0106377	
	93.95636	81.98336	74.2768	78.642	81.30234	58.785	80.075	69.8043	69.6995	81.335	87.87533	82.9555	velocity [km/h]		78.4
10300	3.2397015	1.3759665	1.36225	1.49133	1.903383	0.879	2.2185	1.54767	0.98047	1.90631	2.3778975	1.12888	time [s]	27.16717999	
	89.96902	80.62314	71.3807	79.4325	80.8443	59.569	79.818	67.3517	70.5904	80.9675	85.51464	83.8679	velocity [km/h]		77.5
11000	3.1917179	1.3745794	1.35177	1.49133	1.889318	0.879	2.2056	1.53031	0.98047	1.89229	2.3668725	1.12888	time [s]	26.99005049	
	91.053955	82.644875	71.9035	79.4325	81.34946	59.569	80.197	69.7305	70.5904	81.4648	86.096634	83.8679	velocity [km/h]		78.2
11500	3.155982	1.3745794	1.34881	1.49133	1.881165	0.879	2.1974	1.52102	0.98047	1.88408	2.3647265	1.12888	time [s]	26.87960909	
	91.96501	82.644875	74.9012	79.4325	81.6116	59.569	80.559	70.0168	70.5904	81.7333	88.6624	83.8679	velocity [km/h]		78.8
12000	3.1378863	1.3745794	1.34881	1.49133	1.873923	0.879	2.1907	1.5133	0.98047	1.87708	2.3647265	1.12888	time [s]	26.81478099	
	94.75034	82.644875	74.9012	79.4325	81.93937	59.569	80.79	70.221	70.5904	81.9708	88.6624	83.8679	velocity [km/h]		79.1



# Příloha č.4 Výsledky simulací sacího pléna a vstupní trysky provedené Ing. Ondřejem Císařem

-Zdroj [5]





## Příloha č. 5 Příklady výsledků z jednotlivých disciplín FS East

-Zdroj [22]

# Final RESULT Autocross

# FORMULA STUDENT EAST

## Combustion vehicles

Team name	Car	Best time inc.pen.	Score	Place
Rennteam Uni Stuttgart e.V.	290	55,651	100,0	1
Rennstall Esslingen	94	55,956	97,4	2
joanneum racing graz	21	57,182	87,2	3
FaSTTUBe	313	59,351	70,2	4
Arrabona Racing Team	79	60,298	63,2	5
UPBracing Team e.V.	58	60,409	62,4	6
BME Motorsport	194	60,709	60,2	7
CTU CarTech	233	61,262	56,3	8
PWR Racing Team	311	63,209	42,9	9
PRz Racing Team	133	65,563	27,8	10
Centaurus Racing Team	73	65,810	26,3	11
TU Brno Racing	74	68,514	10,4	12
AAU Racing	18	75,115	4,5	13
Aixtreme Racing	571	88,737	4,5	13
Aristotle Racing Team	14	95,108	4,5	13
Cerber Motorsport	70	71,626	4,5	13
HAWKS Racing	69	85,282	4,5	13
Tampere Formula Student	178	77,393	4,5	13
TU Istanbul Racing	34	97,420	4,5	13
UNI Maribor Grand Prix Engineering	335	69,747	4,5	13
Estaca Formula Team	278		0,0	21
High-Octane Motorsports e.V.	247		0,0	21
Polimarche Racing Team	10		0,0	21
Road Arrow Combustion Team	35		0,0	21



# Final RESULT Autocross

FORMULA  
STUDENT EAST  
20<sup>TH</sup> TO 23<sup>RD</sup> JULY

	Team name	Car	Best time inc.pen.	Score	Place
1	RIT Racing	1	43,599	62,0	11
2	KA-RaceIng	7	45,24	46,0	16
3	UJI Motorsport FS Team	12		0,0	28
4	BME Formula Racing Team	E14	43,868	59,3	13
5	Rennteam Uni Stuttgart	16	40,34	97,5	4
6	TUfast Racing Team e-Technology	21	48,085	21,0	22
7	Evolution Racing Team Saar e.V.	25		0,0	28
8	GreenTeam Uni Stuttgart e.V.	26	40,282	98,2	3
9	KEFO Motorsport	29	51,209	4,5	24
10	CTU CarTech	30	44,438	53,7	15
11	TUfast Racing Team Combustion	31	41,034	89,4	6
12	AMZ Racing Team	E33	40,544	95,1	5
13	YTU Racing	34	45,935	39,6	19
14	HTW Berlin Motorsport	38	49,467	9,8	23
15	TUW Racing - Rennteam der TU Wien	E41		0,0	28
16	FaSTDa Racing	42	43,693	61,0	12
17	TU Darmstadt Racing Team e.V.	43		0,0	28
18	Akademische Motorsportgruppe Darmstadt	47		0,0	28
19	High Octane Motorsport e.V.	49	45,5	43,6	18
20	Formula Dream Russia Moscow	52	47,373	27,0	20
21	UPBracing Team e.V.	58	43,283	65,2	10
22	Formula Student Team Weingarten	60	44,385	54,2	14
23	eForce FEE Prague Formula	E67	42,097	77,6	7
24	HAWKS Racing e. V.	69		0,0	28
25	CAT - Racing	70	42,833	69,8	9
26	ATHENE RacingTeam e.V.	73		0,0	28
27	TU Brno Racing	74	45,463	43,9	17
28	Formula Electric MAD1	E77		0,0	28
29	e-ignition Hamburg	78		0,0	28
30	Arrabona Racing Team	79	47,723	24,0	21
31	Formula TU Ostrava	82	51,759	4,5	24
32	Formula Student Team Delft	E85	40,182	99,3	2
33	STUBA Green Team	E90		0,0	28
34	Metropolia Motorsport	E98	51,188	4,5	24
35	Ecurie Aix Formula Student Team RWTH Aac	99		0,0	28
36	FS Team Tallinn	147	42,323	75,2	8
37	KA-RaceIng e.V.	217	40,126	100,0	1
38	FSRUDN	287	52,659	4,5	24



## Příloha č. 6 Datasheet lepidla Loctite 9466

# LOCTITE

Technický list

## LOCTITE® EA 9466™

Původní název LOCTITE® Hysol® 9466™  
září 2014

### Popis výrobku

LOCTITE® EA 9466™ má následující vlastnosti:

<b>Technologie</b>	Epoxid
<b>Chemický typ</b>	Epoxid
<b>Vzhled (Pryskyřice)</b>	Bílá matná pasta
<b>Vzhled (Tvrdidlo)</b>	Bílá průhledná kapalina
<b>Vzhled (Smíchaný)</b>	Našedlá matná pasta
<b>Složky</b>	Dvousložkový
<b>Viskozita</b>	Střední
<b>Mísicí poměr objemový pryskyřice : tvrdidlo</b>	2 : 1
<b>Mísicí poměr hmotnostní pryskyřice : tvrdidlo</b>	100 : 50
<b>Vytvrzení</b>	Po zamíchání při pokojové teplotě
<b>Aplikace</b>	Lepení

LOCTITE® EA 9466™ je houževnaté průmyslové epoxidové lepidlo s prodlouženou dobou zpracovatelnosti. Pokud jsou jeho dvě složky promíchány, epoxid vytvrzuje při pokojové teplotě na houževnatou, našedlou hmotu, která má vysokou odolnost vůči loupání a velkou pevnost ve smyku. Plně vytvrzený epoxid je odolný vůči širokému spektru chemikálií a rozpouštědel a slouží rovněž jako výborný elektrický izolátor. LOCTITE® EA 9466™ poskytuje vynikající pevnost lepeného spoje na široké škále plastů a kovů. Typické aplikace zahrnují běžné průmyslové lepení, kde se požaduje prodloužená doba zpracovatelnosti pro správné nastavení či přestavení součástí během sestavování.

### TYPICKÉ VLASTNOSTI NEVYTVRZENÉHO MATERIÁLU

#### Pryskyřice:

Měrná hmotnost při 25 °C	1,0
Bod vzplanutí - viz Bezpečnostní list	
Viskozita, Brookfield - RVT, 25 °C, mPa·s (cP): Vřetenem 6, rychlost 20 ot/min.	15 000 až 50 000

#### Tvrdidlo:

Měrná hmotnost při 25 °C	1,0
Bod vzplanutí - viz Bezpečnostní list	
Viskozita, Brookfield - RVT, 25 °C, mPa·s (cP): Vřetenem 5, rychlost 50 ot/min.	25 000 až 60 000

#### Smíchaný produkt:

Doba zpracovatelnosti, minut	60
------------------------------	----

### PROVOZNÍ VLASTNOSTI PŘI VYTVRZOVÁNÍ

#### Doba fixace

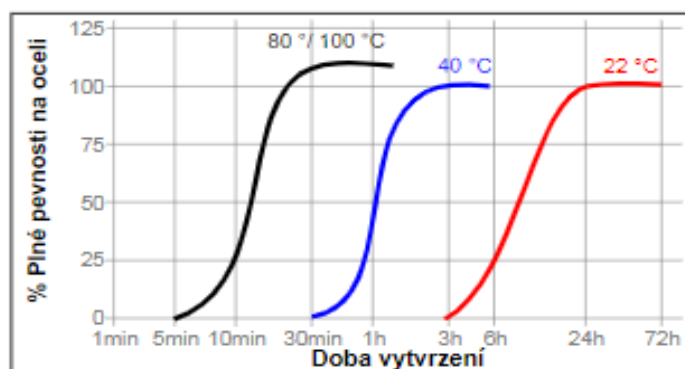
Doba fixace je definována jako čas potřebný k získání pevnosti ve smyku 0.1 N/mm<sup>2</sup>.

Doba fixace, ISO 4587, minut:

Ocel (otryskaná) 180

#### Rychlost vytvrzení dle času a teploty

Rychlost vytvrzení závisí na okolní teplotě, zvýšení teploty je možné využít k urychlení vytvrzení. Graf níže ukazuje závislost pevnosti ve smyku na čase při různých teplotách na zkušebních vzorcích z otryskané oceli, zkoušeno v souladu s ISO 4587.



### TYPICKÉ VLASTNOSTI VYTVRZENÉHO MATERIÁLU

Vytvrzeno po dobu 7 dní 22 °C, 1,2 mm silný film

#### Fyzikální vlastnosti:

Teplota skelného přechodu, ASTM E 1640, °C	62
Tvrdost Shore, ISO 868, Tvrdoměr typu D	60
Prodloužení, ISO 527-3, %	3
Pevnost v tahu ASTM D 882	N/mm <sup>2</sup> 32 (psi) (4 640)
Modul pružnosti v tahu, ISO 527-3	N/mm <sup>2</sup> 1 718 (psi) (249 110)

#### Elektrické vlastnosti:

Dielektrická pevnost, ASTM D 149, kV/mm	30
---	----

**TYPICKÉ VLASTNOSTI VYTVRZENÉHO MATERIÁLU****Adhezní vlastnosti**

Vytvrzeno po dobu 5 dní/22 °C

Pevnost ve smyku, ISO 4587:

Ocel (otryskaná)	N/mm <sup>2</sup>	37,0
	(psi)	(5 385)
Hliník (obroušený)	N/mm <sup>2</sup>	26,0
	(psi)	(3 770)
Hliník (eloxovaný)	N/mm <sup>2</sup>	17,9
	(psi)	(2 595)
Ocel s galvanickou úpravou (Žárově zinkovaná)	N/mm <sup>2</sup>	8,5
	(psi)	(1 230)
Nerezová ocel	N/mm <sup>2</sup>	23,0
	(psi)	(3 335)
Polykarbonát	N/mm <sup>2</sup>	5,3
	(psi)	(765)
Nylon	N/mm <sup>2</sup>	1,8
	(psi)	(230)
Dřevo (Jedle)	N/mm <sup>2</sup>	11,3
	(psi)	(1 635)
Sklolaminát	N/mm <sup>2</sup>	5,0
	(psi)	(725)
ABS	N/mm <sup>2</sup>	4,7
	(psi)	(680)

180° Pevnost v loupání, ISO 8510-2:

Ocel (otryskaná)	N/mm	8,0
	(lb/in)	(45,5)

Pevnost v tahu, ISO 6922:

Ocelový čep (otryskaná) na Sodné sklo	N/mm <sup>2</sup>	43,2
	(psi)	(6 260)

Pevnost při nárazu ASTM D 950, J/m<sup>2</sup> :

Ocel (otryskaná)	5,8
------------------	-----

**TYPICKÁ ODOLNOST VŮČI PROSTŘEDÍ**

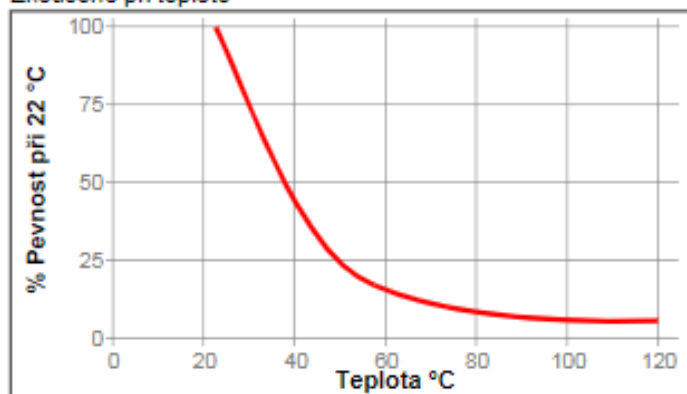
Vytvrzeno po dobu 5 dní/22 °C

Pevnost ve smyku, ISO 4587:

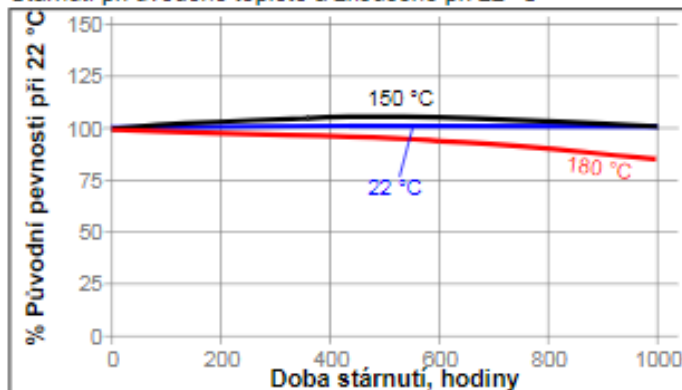
Ocel (otryskaná)

**Pevnost za tepla**

Zkoušeno při teplotě

**Stárnutí za tepla**

Stárnutí při uvedené teplotě a zkoušeno při 22 °C

**Odolnost proti chemikáliím a rozpouštědlům**

Stárnutí při uvedených podmínkách a zkoušeno při 22 °C.

Prostředí	°C	% původní pevnosti	
		500 h	1000 h
Motorový olej (10W-30)	87	135	145
Bezolovatý benzín	22	95	125
Voda/glykol 50/50	87	75	75
Slaná mlha	22	---	80
98% RV	40	85	90
Kondenzující vlhkost	49	---	90
Voda	22	---	90
Aceton	22	75	90
Isopropanol	22	90	100

Pevnost v tahu, ISO 6922, % původní pevnosti:

Ocelový čep (otryskaná) na Sodné sklo:

Prostředí	°C	% původní pevnosti	
		500 h	1000 h
98% RV	40	90	90

**VŠEOBECNÉ INFORMACE**

Informace pro bezpečné zacházení s tímto produktem najdete v Bezpečnostním listě (BL).

Tento produkt se nedoporučuje používat v čistě kyslíkových nebo na kyslík bohatých systémech a neměl by se používat k těsnění chlóru či jiných silně oxidačních materiálů.

Tam kde se používají vodní roztoky pro čištění povrchů před lepením je důležité zkontrolovat kompatibilitu mycího roztoku a produktu. V některých případech mohou vodní roztoky nepříznivě ovlivnit vytvrzování a vlastnosti produktu.

**Pokyny pro použití**

- Pro co nejlepší výsledek lepení by měly být povrchy čisté a odmaštěné.
- Pro vysokopevnostní konstrukční spoje je třeba odstranit znečištění z lepených povrchů, jako je například lak, zoxidovaná vrstva, oleje, prach, separační činidla a další možná znečištění.
- Balení v dvojkartuši:** Při použití vložte jednoduše dvojkartuši do aplikační pistole a dotlačte píst pistole do

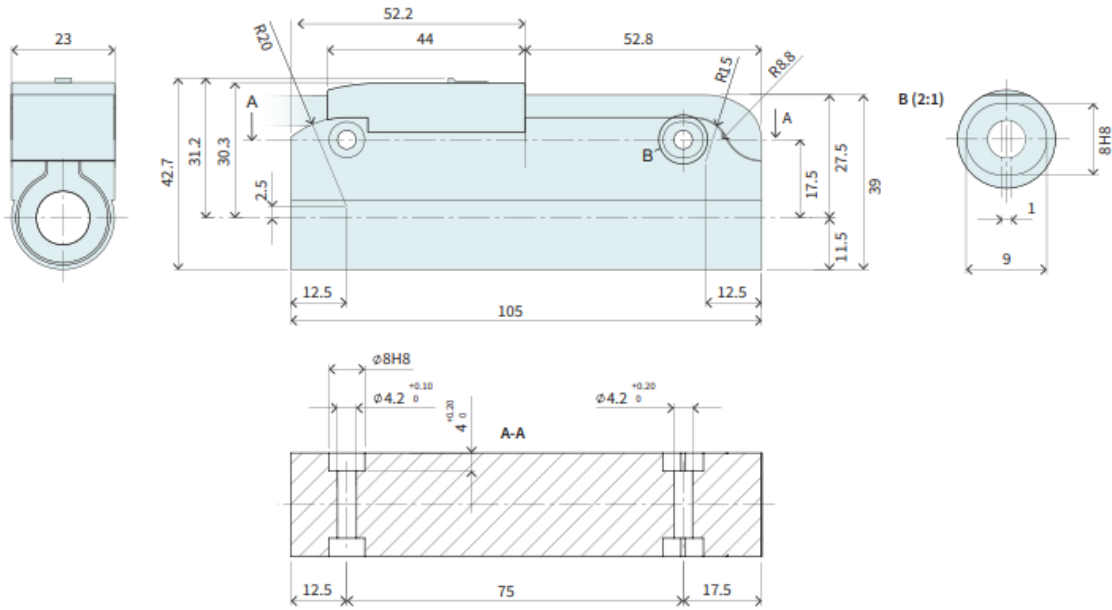


## Příloha č. 7 Technická data aktuátoru

-Zdroj [24]

Technical Data P02-235x80F/20x80-HP				
<b>Stroke</b>				
Standard Stroke (SS)	mm	(in)	20	(0.78)
Extended Stroke (ES)	mm	(in)	80	(3.14)
<b>Force</b>				
Max. Force @ 48VDC	N	(lbf)	67.1	(15.1)
Max. Force @ 72VDC	N	(lbf)	67.1	(15.1)
Max. Cont. Force [Passive cooling / Fan / Fluid]	N	(lbf)	13 / 24 / -	(2.9 / 5.3 / -)
Max. Border Force relative	%		63	
Force Constant	N/A <sub>ps</sub>	(lbf/A <sub>ps</sub> )	8.95	(2.01)
<b>Velocity</b>				
Max. Velocity @ 48VDC	m/s	(in/s)	4.9	(189.9)
Max. Velocity @ 72VDC	m/s	(in/s)	7.3	(289.9)
<b>Position Detection</b>				
Repeatability	mm	(in)	±0.05	(±0.002)
Linearity	%		± 0.4	
<b>Electrical Data</b>				
Max. Current @ 48VDC	A <sub>ps</sub>		7.4	
Max. Current @ 72VDC	A <sub>ps</sub>		7.4	
Max. Cont. Current [Passive cooling / Fan / Fluid]	A <sub>ps</sub>		1.5 / 2.7 / -	
<b>Thermal Data</b>				
Max. Winding Temperature (Sensor)	°C		120	
Thermal Resistance [Passive cooling / Fan / Fluid]	°K/W		6.4 / 1.9 / -	
Thermal Time Constant [Passive cooling / Fan / Fluid]	s		830 / 250 / -	
<b>Mechanical Data</b>				
Slider Length	mm	(in)	150	(5.9)
Slider Mass	g	(lb)	110	(0.24)



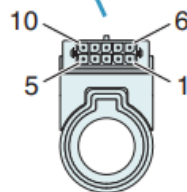


Item	Description	Item-No.
PS02-23Sx80F-HP-K	Stator HP, Cable -90°, 0°, +90°	<a href="#">0150-1285</a>

## CONNECTOR

Motor Connector Wiring		Wire color motor cable
Pin 1	Phase 1+	red
Pin 2	Phase 2+	blue
Pin 3	n.c.	n.c.
Pin 4	Phase 1-	pink
Pin 5	Phase 2-	grey
Pin 6	Sensor Sin	yellow
Pin 7	Sensor Cos	green
Pin 8	GND	brown
Pin 9	+5V	white
Pin 10	Temp sensor	black
	Housing	Shield

### K-Connector



View: Motor Connector, plug side

