

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství

Studijní zaměření: Strojírenská technologie – technologie obrábění

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Technologie výroby a návrh vložky válce maloobjemového  
motocyklu**

Autor: **Adam Hamberger**

Vedoucí práce: **Ing. Milan Daňa**

Akademický rok 2016/17

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta strojní  
Akademický rok: 2016/2017

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Adam HAMBERGER**  
Osobní číslo: **S14B0126P**  
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Strojírenská technologie-technologie obrábění**  
Název tématu: **Technologie výroby a návrh vložky válce maloobjemového motocyklu**  
Zadávající katedra: **Katedra technologie obrábění**

### Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Rozbor současného stavu
3. Konstrukční návrh
4. Návrh technologie
5. Výběr varianty
6. Závěr

Rozsah grafických prací: dle potřeby  
Rozsah kvalifikační práce: 30 - 40 stran  
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

- STANĚK, J.-NĚMEJC, J. Metodika zpracování a úprava diplomových prací. Plzeň: ZČU, 2005
- JANDEČKA, K.-ČESÁNEK, J.-KOŽMÍN, P. Programování NC strojů. Plzeň: ZČU, 2000
- VRABEC, M., MÁDL, J.: NC programování v obrábění. Praha: ČVUT, 2004.
- BILÍK, O., VRABEC, M.: Technologie obrábění s využitím CAD/CAM systémů. VŠB-TU Ostrava 2002. ISBN 80-248-0034-9
- Elektronické informační zdroje dostupné z [www.knihovna.zcu.cz](http://www.knihovna.zcu.cz)

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Milan Daňa  
Regionální technologický institut  
Konzultant bakalářské práce: Ing. Milan Daňa  
Regionální technologický institut

Datum zadání bakalářské práce: 17. října 2016  
Termín odevzdání bakalářské práce: 2. června 2017



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.  
děkan



Doc. Ing. Jan Rehoř, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 19. října 2016

### **Prohlášení o autorství**

Prohlašuji, že tuto práci jsem vypracoval samostatně pod vedením Ing. Milana Daňi a s použitím zdrojů uvedených v seznamu.

V Plzni dne 26. 5. 2017

.....

Podpis autora

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Luboši Kroftovi za podporu při generování NC kódu, obsluze stroje CTX BETA 1250 TC a Ing. Josefu Skleničkovi za vyhrazení časového prostoru a obslužení stroje.

## ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	Příjmení Hamberger	Jméno Adam
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	B2301 „Strojírenská technologie-technologie obrábění“	
<b>VEDOUcí PRÁCE</b>	Příjmení (včetně titulů) Ing. Daňa	Jméno Milan
<b>PRACOVÍŠTĚ</b>	ZČU - FST - KTO	
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	<b>DIPLLOMOVÁ</b>
		<b>Nehodící se škrtněte</b>
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Technologie výroby a návrh vložky válce maloobjemového motocyklu	

<b>FAKULTA</b>	Strojní	<b>KATEDRA</b>	KTO	<b>ROK ODEV.</b>	2017
----------------	---------	----------------	-----	------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	39	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	22	<b>GRAF. ČÁST</b>	17
---------------	----	---------------------	----	-------------------	----

<b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b>	Tato práce se zabývá úpravou válce motoru Jawa 50 s účelem zvýšení výkonových charakteristik. Po zjištění technických detailů sériového válce proběhl návrh zejména vložky válce tak, aby motocykl mohl být používán pro závodní účely. Kromě návrhu vložky se práce zabývá návrhem jejího upnutí a obrobení. Cílem práce je upravit motocyklový válec tak, aby dosahoval požadovaných parametrů s ohledem na pásmo použitelnosti, chlazení motoru, odstupňování převodovky, životnosti motoru a na další omezující parametry.
<b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b>	
<b>KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b>	Vložka válce, motocyklový válec, Jawa 50, zvyšování výkonu, modifikace plnění, pětiosé frézování

## SUMMARY OF BACHELOR SHEET

<b>AUTHOR</b>	Surname Hamberger	Name Adam	
<b>FIELD OF STUDY</b>	B2301 „Department of Machining Technology“		
<b>SUPERVISOR</b>	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Daňa	Name Milan	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST – KTO		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>BACHELOR</b>	<del><b>DIPLOMA</b></del>	<b>Delete when not applicable</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Production technology and a design of cylinder liner of a small-volume motorcycle		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Machining Technology	<b>SUBMITTED IN</b>	2017
----------------	------------------------	-------------------	----------------------	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	39	<b>TEXT PART</b>	22	<b>GRAPHICAL PART</b>	17
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

<b>BRIEF DESCRIPTION</b>  <b>TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	<p>This work deals with cylinder Jawa 50 in order to maximize of power characteristics. After technical details detection of the original cylinder was in motion the technical design of the cylinder liner to racing use of the motorcycle. Except the technical design deals this work with clamping and machining of the cylinder liner. Work output is the modification of the motorcycle cylinder in order to attainment of the power characteristics with respect to applicability band, motor cooling, gear setup, life time and other limiting parameters.</p>
<b>KEY WORDS</b>	<p>Cylinder liner, moto-cylinder, Jawa 50, power-maximizing, filling-modification, 5-axis milling</p>

## Seznam zkratk, symbolů a jednotek

NC kód	Numerical Control code	Číslicový řídicí kód
CAD	Computer Aided Design	Počítačem podporované navrhování
CAM	Computer Aided Manufacturing	Počítačem podporované obrábění
3D	Three Dimension	Třírozměrný
HÚ		Horní úvrat'
DÚ		Dolní úvrat'
5K		Pětikanálový
RS		Dvoukanálový
Nm	Newton metr	Jednotka točivého momentu
kW	Kilowatt	Jednotka výkonu
kp	Kilopond	Jednotka síly
ccm	Kubický centimetr	Jednotka objemu
MPa	Megapascal	Jednotka tlaku
$\varphi_2$	[°]	Natočení klikové hřídele
$\varphi_3$	[°]	Odklon ojnice
r	[mm]	Rameno klikového hřídele
l	[mm]	Délka ojnice
x <sub>4</sub>	[mm]	Posun pístu



## Obsah

1	Úvod.....	1
2	Rozbor současného stavu.....	2
2.1.	Současný stav .....	2
2.2.	Používané materiály .....	3
2.3.	Funkce dvoudobého motoru .....	4
2.3.1.	Fáze cyklu dvoudobého motoru .....	5
2.4.	Rozbor detailů sériového válce.....	7
2.4.1.	Rozvin pláště vložky a časování .....	9
2.4.2.	Přepouštěcí kanály.....	11
2.4.3.	Výfukový kanál .....	14
2.4.4.	Sací kanál .....	15
3	Konstrukční návrh.....	16
3.1.	Návrh dvoukanálové varianty.....	17
3.1.1.	Rozvin pláště vložky a časování .....	18
3.1.2.	Přepouštěcí kanály.....	19
3.1.3.	Výfukový kanál .....	21
3.1.4.	Sací kanál .....	22
3.2.	Návrh pětikanálové varianty.....	23
3.2.1.	Rozvin pláště vložky a časování .....	24
3.2.2.	Přepouštěcí kanály.....	25
3.2.3.	Výfukový kanál .....	28
3.2.4.	Sací kanál .....	29
4	Návrh technologie.....	30
4.1.	Návrh upnutí .....	31
4.2.	Výrobní postup 5K varianty .....	32
4.3.	Frézování .....	33
4.4.	Hotový obrobek .....	34
4.5.	Slisování .....	35
5	Výběr varianty .....	36
6	Závěr .....	38

# 1 Úvod

Závody maloobjemových motocyklů jsou sportovní disciplínou oblíbenou od poloviny minulého století. V České republice se vyskytuje více kategorií, mezi které patří i kategorie motocyklů Jawa 50. Vložky válce, jež jsou předmětem této práce, budou plnit svou funkci jak v silničních závodech mistrovství České republiky, tak i v terénních závodech Šumavského poháru. K tomu, aby byl závodní stroj schopný vítězství, je zapotřebí, aby dosahoval výkonových charakteristik vyšších než ostatní stroje na startovní listině. Vložka válce se podílí obrovskou měrou na výkonových charakteristikách společně s ostatními komponentami motoru tak, že je možno charakteristiky zvýšit přibližně trojnásobně oproti sériovému provedení. Proto je zapotřebí věnovat této součásti velkou pozornost, aby mohl takto upravený stroj reprezentovat nejen závodní tým, konstruktéra, ale i výsledky práce studentů Západočeské univerzity v Plzni

Cílem této práce je rozbor konstrukčních detailů vložky válce a její návrh a výroba tak, aby spolu s ostatními úpravami zvýšila výkon motoru. Úpravy budou navrhovány na základě obsáhlých zkušeností z dřívějších úprav prováděných na sériových vložkách v domácích podmínkách. Návrh proběhne v programu Autodesk Inventor, výroba proběhne v soustružnicko-frézovacím centru. Předtím však bude nutné provést návrh upnutí obrobku, sled operací, vhodné obráběcí nástroje, atd. Hotová vložka bude nalisována v hliníkovém obalu a tvořit tak závodní válec.

Motor bude po zjetí podroben zkouškám na válcovém dynamometru, kde by měl mít dle požadavků minimální krouticí moment 6 Nm v rozsahu otáček od 7 000 do 10 000 ot/min s maximální hodnotou přibližně 8 Nm. Přípustný je vyšší provozní rozsah otáček, kdy poměr nižší ku vyšší hodnotě musí být maximálně 0,7. Důvodem je správná návaznost při řazení na vyšší rychlostní stupeň s co nejmenším propadem hnací síly. Optimální způsob pro porovnání je nejen praktická zkouška na okruhu, ale také porovnání diagramů hnacích sil v závislosti na rychlosti.



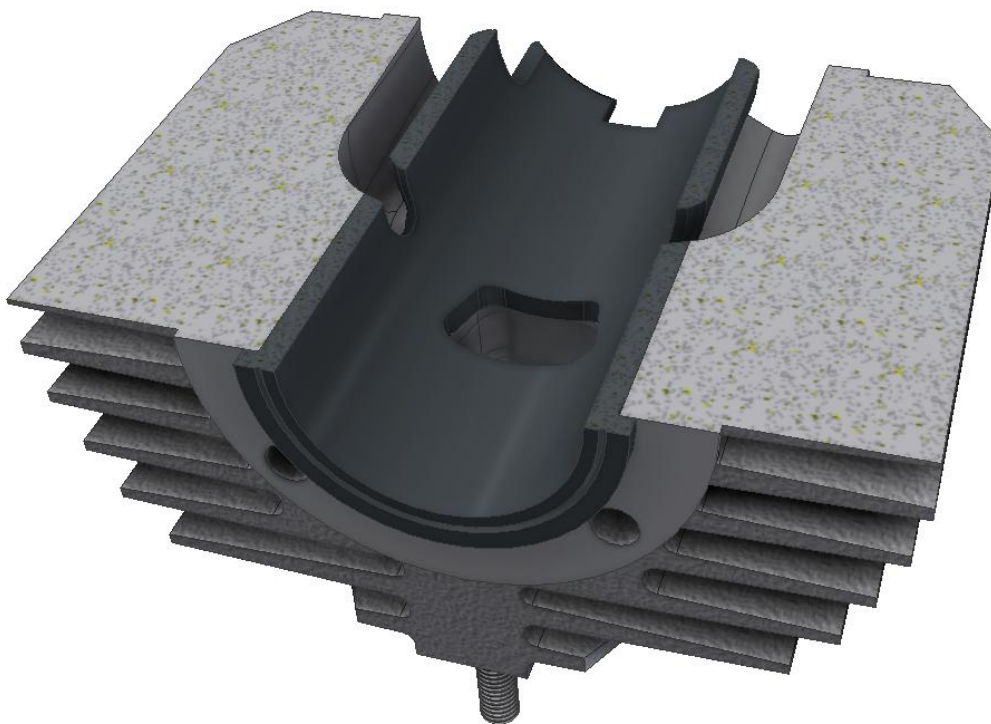
Obr. 1 Dobový plakát s motocyklem Jawa 20 [13]

## 2 Rozbor současného stavu

### 2.1. Současný stav [1], [4]

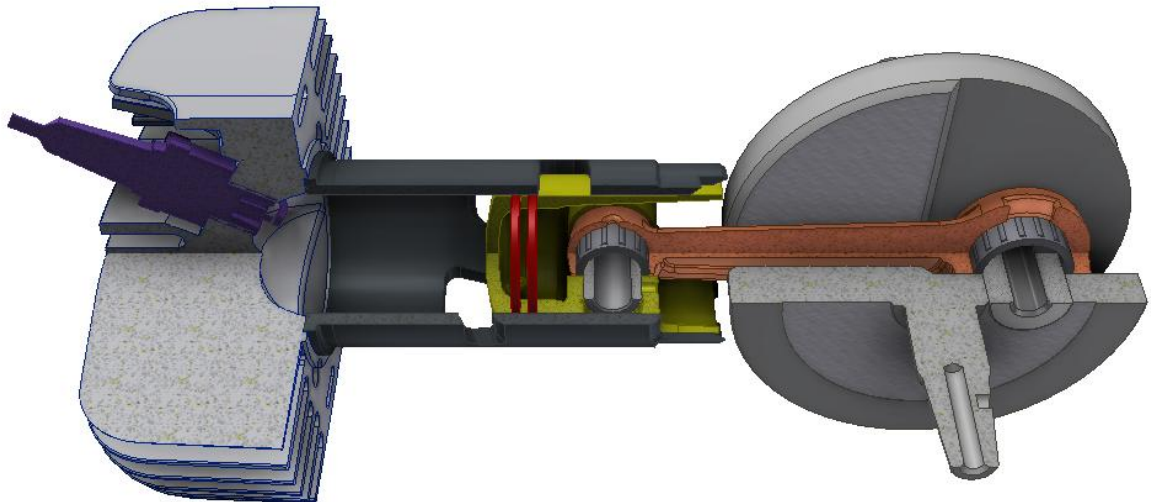
Motocykly Jawa 50 byly zkonstruovány pro jízdu na převážně kratší vzdálenosti po zpevněných cestách. Dostupnost těchto strojů a jejich součástí umožnila použít tyto motocykly i na jiné účely, mezi které patří mimo jiné i terénní a silniční závody. Válec s litinovou vložkou je použit ve mnoha motocyklech. Hliníková slitina, z níž je vyroben obal válce, má přibližně třikrát lepší tepelnou vodivost než šedá litina. Tento fakt značně zlepšuje chladicí efekt i přesto, že přestup tepla je omezen přechodem mezi dvěma odlišnými materiály. Proto je třeba brát zřetel na dostatečný styk obou válcových ploch.

Hlavním účelem vložky je ořetru a žáruvzdorné vedení pístu s pístními kroužky, utěsnění tlaků a u dvoudobého motoru umožnit správný pohyb směsi. Proto je od materiálu vložky požadována dostatečná tvrdost, obvykle větší než 180 HB. Dobré kluzné vlastnosti jsou podpořeny použitím šedé litiny, protože ta vlivem přítomnosti obsahu uhlíku přibližně v eutektické koncentraci podporuje mazání.



*Obr. 2 Model válce v polovičním řezu*

Na obr. 2 je v polovičním řezu znázorněná poloha vložky válce vůči jejímu hliníkovému obalu. Na obr. 3 je vidět jak vložka válce souvisí v motoru s ostatními součástmi. Zleva je přisazena hlava motoru se zapalovací svíčkou (fialová), která je přitažena k límcí vložky čtyřmi svorníky, které procházejí dírami v hliníkovém obalu a jsou zašroubovány do motorové skříň (nevyobrazeno). Po vložce se trou zevnitř pístní kroužky (červená) vedené pístem (žlutá), jehož kmitavé pohyby jsou přes ojnici (hnědá) transformovány na rotační pohyb klikové hřídele na pravé straně obrázku.



Obr. 3 Sestava ve tříčtvrtečním řezu bez hliníkového obalu válce.

U dnešních motocyklů, zejména závodních se od konstrukce s vložkou ustupuje kvůli delší výdrži a kluzným vlastnostem a vyvíjejí se jiná řešení s jinými materiály.

## 2.2. Používané materiály [7], [9]

Ve světě ještě před zahájením výroby motocyklů Jawa 50 započal vývoj řešení, kde píst již nebyl veden žádnou vložkou, ale přímo obalem válce, na kterém se kluzná válcová plocha opatří tenkou vrstvou. Vrstvy bývají většinou na bázi křemíku, niklu nebo jejich kombinací s dalšími prvky. Tyto povrchové vrstvy bývají buď nanášené, např. galvanicky, anebo se jedná o povrchovou změnu základního materiálu procesem, kdy se povrch válce sytí legujícími prvky zlepšující zejména kluznost a otěruvzdornost. Metody používající se ve válcích dvoudobých motorů využívají většinou disperzní pokovení. Sycení základního materiálu se uplatňuje zejména v automobilových motorech, mezi nejznámější metody uplatňující tuto technologii patří např. alusil. Metody disperzního pokovení bývají továrním tajemstvím výrobců motocyklových válců, většinou jsou ale velmi podobné metodě, jež se hojně využívá i v opravárenství a ta se nazývá nikasil.

„Nikasil je běžně užívaný laický výraz pro dispersní niklování, používané naší firmou pro pokovení pracovní plochy motocyklových válců. Jedná se o galvanické nanášení niklové vrstvy na jakýkoliv vodivý materiál - spolu s částicemi inertního nevodivého materiálu, v našem případě karbidu křemíku (SiC - sloučenina uhlíku a křemíku), vyznačujícího se vysokou tvrdostí. Nanášený nikel i karbid křemíku jsou součástí pracovní lázně. Při nanášení se karbid křemíku zakotvuje ve vrstvě niklu a na stěně motoválce tak vzniká potřebná kluznost.“ [9]

Konečnou fází kluzného povrchu válce je jeho obrobení na konečný rozměr dle pístu, jenž se v něm bude pohybovat. Nejčastěji se používá honování, které někdy bývá nahrazeno broušením nakulato, neboť moderní válce dvoudobých motorů, zejména závodních, mají velký počet značně rozměrných kanálů, které narušují vedení honovací hlavy.



Obr. 4 Válec závodní motokáry – nikasil, honováno [9]

### 2.3. Funkce dvoudobého motoru [3], [6], [8]

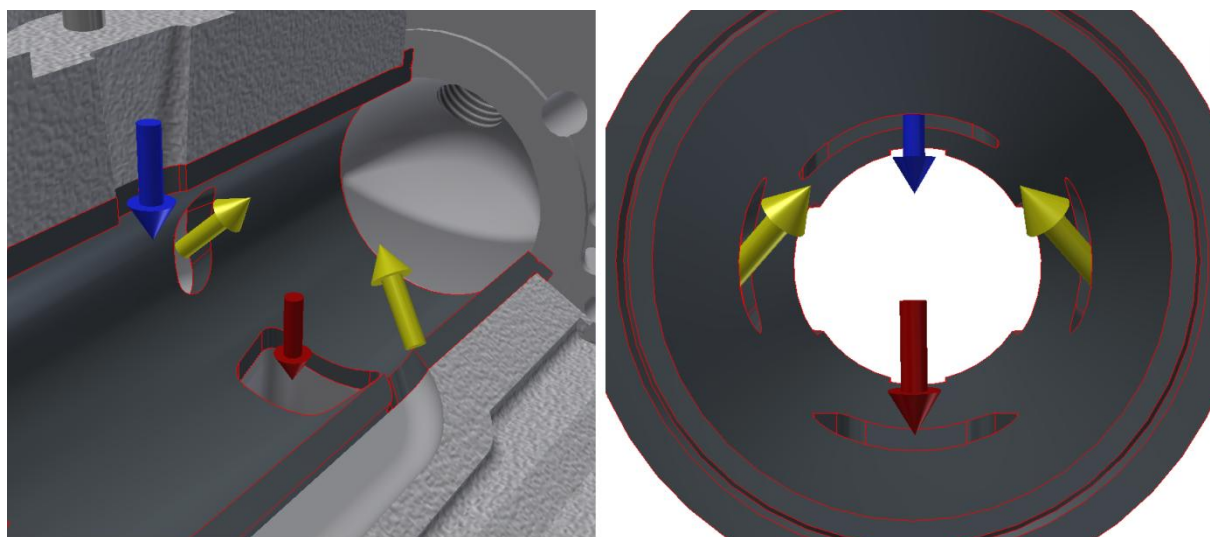
Pro pochopení konstrukčních detailů a úprav, jež budou rozebírány v dalších kapitolách této práce, je vhodné pochopit, jak vlastně dvoudobý motor vůbec funguje. V praxi se vyskytují dva druhy dvoudobých motorů. Zážehový a vznětový, zážehový nachází své opodstatnění zejména v menších strojích např. zahradní mechanizaci a motocyklech, neboť mezi jeho hlavní výhody patří malá hmotnost s vysokým výkonem a možnost pracovat v jakékoli poloze. Vznětový motor se používá ve velkých strojích např. lokomotivách a lodních motorech, tomuto druhu se v této práci nebudeme vůbec věnovat a veškerou pozornost věnujeme nyní dvoudobému zážehovému motoru.

Jedná se o motor s vnitřním spalováním, jehož výstupem je rotující hřídel, jejíž krouticí moment je přes převody použit k pohonu stroje. Rotující hřídel je součástí klikového mechanismu, který transformuje přímo vratný pohyb pístu na zmíněný rotační pohyb.

Přívlastek dvoudobý tkví z charakteristiky jeho pracovního cyklu, který se při chodu stroje neustále opakuje a to při frekvenci od  $500 \text{ min}^{-1}$  pro velké nízkootáčkové motory až po  $40\,000 \text{ min}^{-1}$  pro malé vysokootáčkové motory používané například v modelech letadel na dálkové ovládání. Dvěma dobami jsou myšleny dva zdvihy pístu, kdy jednomu zdvihu přísluší  $180^\circ$  natočení klikové hřídele a dohromady tvoří jeden cyklus. Jeden cyklus obsahuje více fází, jako je sání, stlačení, výbuch, výfuk, přepouštění a zpětné plnění.

Dvoudobý zážehový motor se může vyskytovat ve více variantách. Nejčastější odlišností bývá způsob řízení směsi v sacím kanálu a způsob přepouštění směsi (vyplachování).

Následující popis fází cyklu bude vysvětlen na variantě s vratným vyplachováním a řízením sacího kanálu spodní hranou pístu, neboť právě tak se vyskytuje motor Jawa 23, jehož vložka válce je předmětem této práce.



Obr. 5 Schéma proudu směsi v kanálech motoru Jawa 50

### 2.3.1. Fáze cyklu dvoudobého motoru

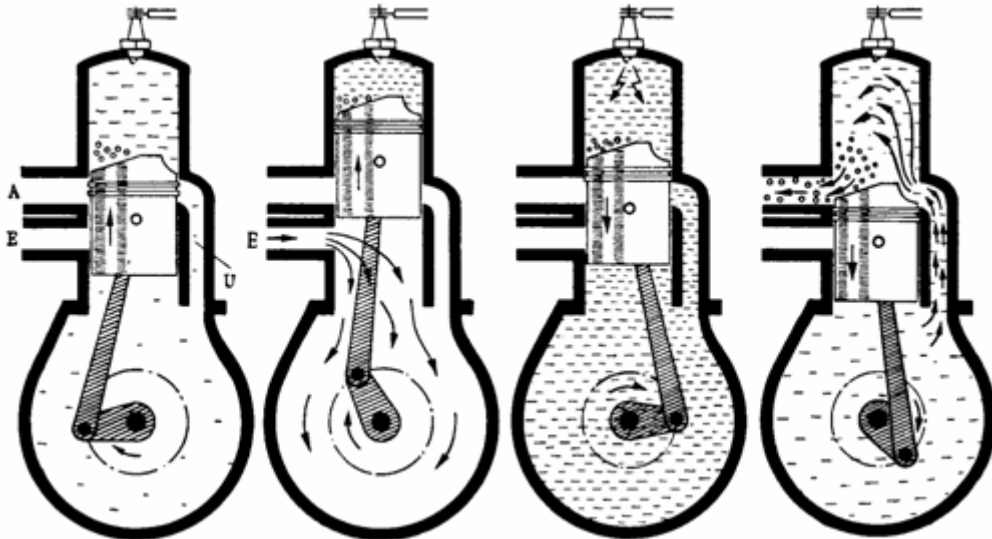
Sání je následkem podtlaku v klikové skříni (prostoru pod pístem) vzniklým zvětšováním objemu směsi paliva se vzduchem. Palivo je tvořeno většinou benzínem s objemovou koncentrací oleje 1% až 6%. Po otevření sacího kanálu dolní hranou pístu (nebo jazýčkovým ventilem) se skříň plní směsí (modrá na obr.5) z karburátoru do té doby, dokud se tlaky nevyrovnají, nebo dokud se sací kanál neuzavře zpětným pohybem pístu. Pokud jsou tlaky ve skříni a v karburátoru stejné, dojde ještě k mírnému přeplnění klikového prostoru vlivem setrvačnosti směsi, která sacím kanálem proudí. Pokud směs ztratí setrvačnost a sací kanál je ještě stále otevřený dojde ke zpětnému úniku směsi do karburátoru.

Komprese probíhá od okamžiku uzavření výfukového kanálu vlivem zmenšování objemu nad pístem.

Fáze sání a expanze se tedy překrývají s tím, že sání se děje pod pístem a komprese nad ním. Před samotnou kompresí se u motorů s rezonančním výfukem uskutečňuje ještě tzv. zpětné plnění, kdy následkem rezonance ovlivněné tvarem výfuku a prouděním spalín proudí směs unklá do výfukového kanálu zpět do válce.

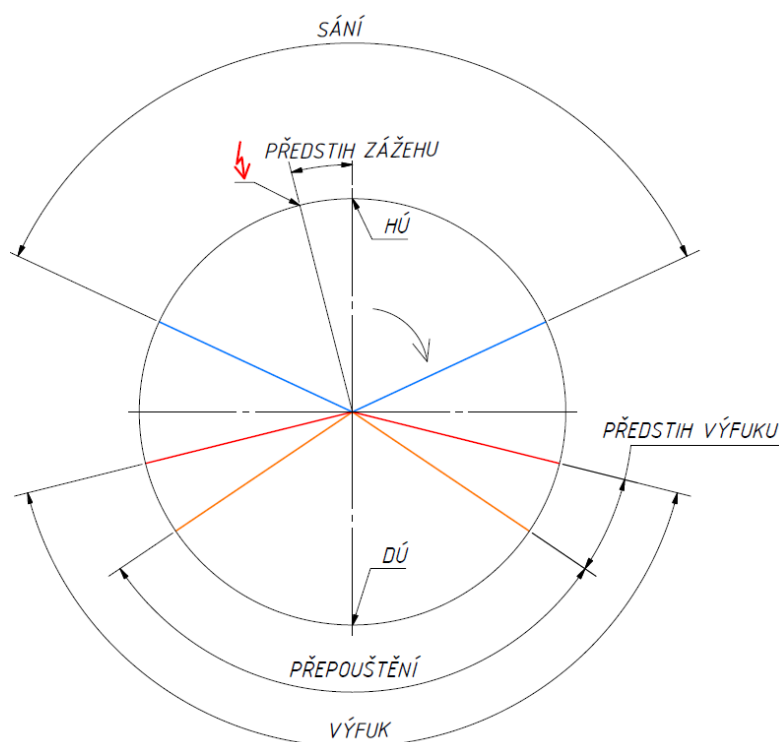
Expanze je následkem hoření směsi, které je započato přeskokem elektrické jiskry mezi kontakty zapalovací svíčky, která je našroubována v hlavě válce. Přeskok nenastává v okamžiku, kdy je píst v horní úvratí, nýbrž v určitém předstihu, který v praxi přibližně bývá 20° natočení klikové hřídele. V průběhu expanze se v motoru koná mechanická práce, jež je pístem převáděna na klikový hřídel. Píst se pohybuje k dolní úvratí a po uzavření sacího kanálu se zvyšuje tlak pod pístem vlivem zmenšení objemu.

Výfuk začíná, když je výfukový kanál otevřen horní hranou pístu a spaliny (červená na obr. 5) proudí do výfukového potrubí. V průběhu fáze výfuku otevírá píst přepouštěcí kanály a začíná fáze přepouštění. Stlačená směs z klikové skříně (žlutá na obr. 5) proudí nad píst, část čerstvé směsi unikne výfukovým kanálem, ale může se dostat zpět při zpětném plnění, pokud funguje ve výfukovém potrubí správná rezonance. Celý proces výměny směsi spálené za čerstvou, anebo uspořádání přepouštěcích kanálů se nazývá vyplachování.



Obr. 6 Schéma cyklu dvoudobého motoru [14]

Okamžiky otevření a zavření jednotlivých kanálů je možné zaznamenat do tzv. diagramu časování, ten bývá někdy též označován jako rozvodový diagram. Časování kanálů se měří ve stupních natočení klikové hřídele a razantně ovlivňuje chod motoru. Obecně platí, že čím větší časování, tím vyšší maximální otáčky motoru, ale nemusí to být pravidlem, neboť výkon motoru se odvíjí i od ostatních parametrů, zejména od sladění válce s ostatními komponenty.



Obr. 7 Diagram časování dvoudobého motoru se symetrickým rozvodem sání

Jak již bylo řečeno, dosud zde bylo pojednáváno pouze o symetrickém rozvodu sání neboli sáním řízeným spodní hranou pístu. Tento rozvod otevírá sání před horní úvratí ve stejném úhlu, jako sání za horní úvratí zavírá (proto symetrický). Výhodnější by ale bylo sací kanál otevřít i zavřít trochu dříve, aby se delší dobu sání využilo zvětšování objemu pod pístem. Pro tento rozvod se využívají různá řešení, například rotační šoupátko nebo jazýčkový ventil, ostatní řešení jako přímovratné šoupátko a dvoupístové řešení se v praxi téměř vůbec nepoužívá. Časování jazýčkového ventilu se nedá přesně stanovit, neboť se otvírá a zavírá podle momentálního rozdílu tlaku před a za ním, tento rozdíl je v provozu jednoho motoru závislý na otáčkách, zatížení, atd.

V praxi se ve valné většině rozsah časování jednotlivých kanálů pohybuje v těchto mezích:

Sání: 110° - 190° symetrický; 140° - 200° nesymetrický

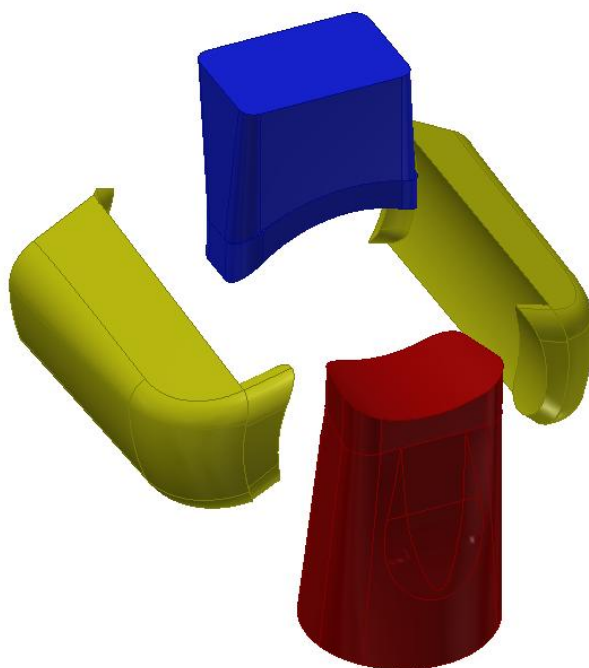
Přepouštění: 100° - 140°

Výfuk: 130° - 200°

## 2.4. Rozbor detailů sériového válce [11],[12]

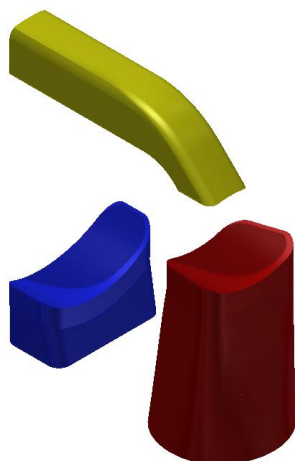
Aspekty válce, které výkon nejvíce ovlivňují, jsou především tvary a časování kanálů. Nejlepší informaci o tom jak kanály vypadají, podávají jejich negativy.





*Obr. 8 Negativy kanálů sériového motoru Jawa 23*

Jedná se o dvoukanalové vratné vyplachování s jedním sacím a jedním výfukovým kanálem. Příčné vyplachování se dnes už nepoužívá, protože je méně efektivní kvůli tomu, že směs vypuštěná z kanálu naproti výfuku hůře vypláchne spalovací prostor a spaliny snáze uniknou do výfuku.

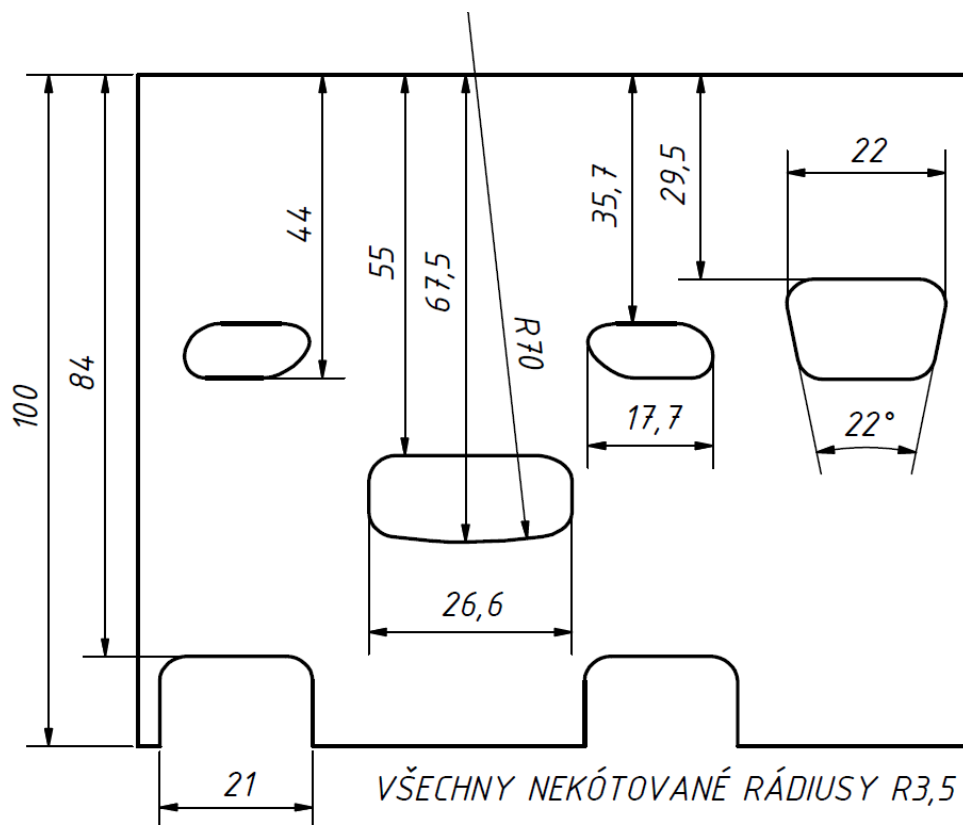


*Obr. 9 Negativy kanálů příčného vyplachování*

Kanál v této poloze se dnes vyskytuje často pouze jako doplněk vratného vyplachování pro urychlení vyplachovacího proudu a je nasměrován k hlavě motoru. Vratné vyplachování vynalezl v roce 1932 německý inženýr Adolf Schnürle. Skutečnost, že motor Jawa 23 využívá dnes již přes 80 let starou koncepci výplachu je jedním z podnětů k její modifikaci. Kromě příčného a vratného vyplachování se vyskytovaly zejména v minulosti různé atypické druhy vyplachování, které jsou sice velmi zajímavé, ale je zbytečné se v této práci o nich zmiňovat.

### 2.4.1. Rozvin pláště vložky a časování

Dalším způsobem, kterým se dá podat informace o tvaru a časování kanálů je rozvin vnitřního pláště vložky, v anglicky psané literatuře známý pod pojmem portmap. Mezi českými úpravci dvoudobých motorů se používá převzatý název portmapa. Ačkoli je to z pravidla technického kreslení nesprávné, rozměry kolmé na osu válce se do portmapy neuvádějí v obloukových (rozvinutých) mírách, ale tak, jak jsou měřeny například posuvným měřítkem.

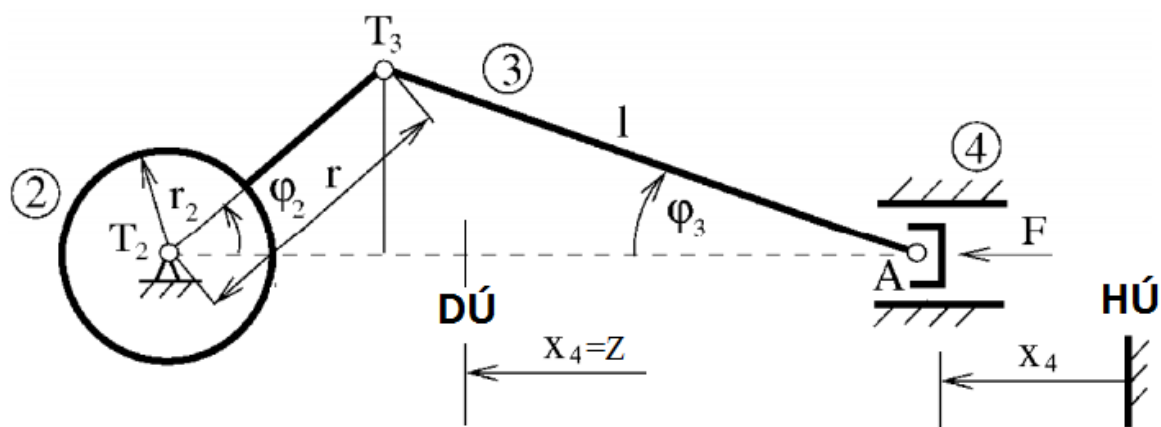


Obr. 10 Portmapa sériové vložky Jawa 23

V předchozí kapitole bylo řečeno, že časování se měří ve stupních natočení klikové hřídele. Zároveň bylo řečeno, že portmapa poskytuje informace o časování, ale přitom zde její součástí žádné úhlové jednotky nejsou. Pokud víme zdvih daného motoru a délku ojnice, dá se z posunu pístu přepočítat časování. Předpokládá se, že v horní úvrati lícuje dno pístu s okrajem vložky. Pokud je známá i délka pístu, dá se dopočítat i časování sání.

Pro zjištění vztahu mezi natočením klikové hřídele a posunem pístu je potřeba vycházet ze schématu klikového mechanismu.

Na obrázku 11 je znázorněn klikový mechanismus, ze kterého se pomocí trigonometrie odvodí zdvihová funkce, tedy závislost posunu pístu  $x_4$  na natočení klikového hřídele  $\varphi_2$ .

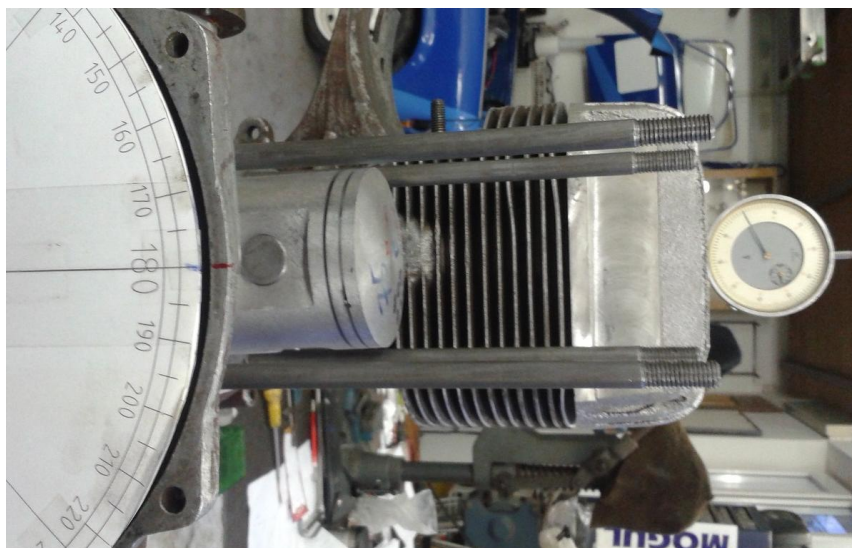


Obr. 11 Kinematické schéma klikového mechanismu [15]

Zdvihová funkce:

$$x_4(\varphi_2) = (l + r) - r \cdot \cos(\varphi_2) - \sqrt{l^2 - (r \cdot \sin(\varphi_2))^2}$$

udává posun pístu od horní úvratí v závislosti na natočení klikové hřídele. Pomocí inverzní funkce  $\varphi_2(x_4)$  je tedy možné zjistit časování kanálů ve stupních z rozměrů z portmapy a naopak, bez použití takzvaného časovacího kotouče, jehož použití společně s ručičkovým indikátorem pro měření posunu pístu je na obr. 12. Početní zjištění časování je mnohem přesnější a rychlejší oproti přímému měření.



Obr. 12 Přímé měření časování [16]

Z portmapy sériového motoru na obr.10, jejíž rozměry byly přímo změřeny, byly pro sériový motor vypočteny následující hodnoty časování.

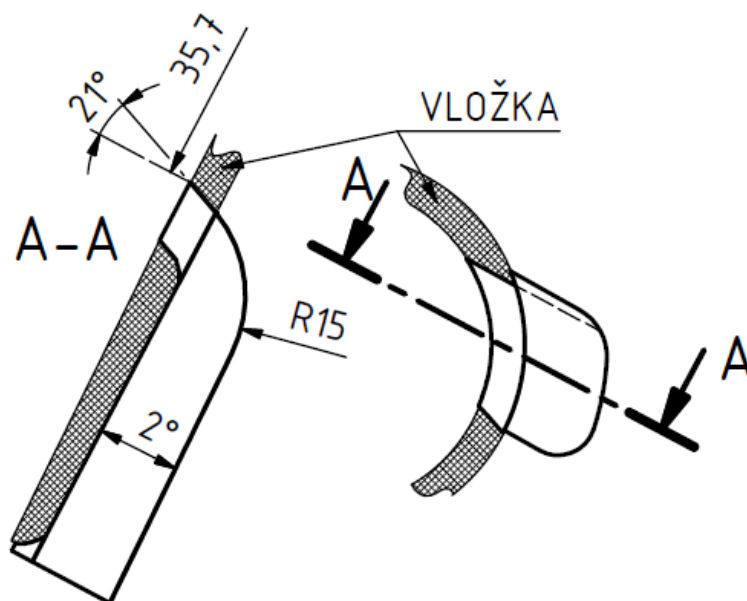
sání	123,6°
přepouštění	114°
výfuk	152,7°

Tab. 1 Hodnoty časování sériového motoru

Častou úpravou bývá zvětšení vrtání na co největší průměr, který bývá ještě snesitelný pro vložku stran rozměrové stálosti při nerovnoměrném ohřevu v motoru. U sériových vložek to většinou bývá z 38 mm na 40 mm, což je také maximální vrtání, které je povoleno v pravidlech většiny závodů motocyklů Jawa 50. Výkonový přínos většinou nebývá tak značný, protože jedním z negativních dopadů je zmenšení časování přepouštění z důvodu skloněného výstupu pod úhlem (viz. kóta 21° na obr.13). Tento negativní dopad se dá eliminovat zpětným posunutím hrany kanálů tak, aby se časování vrátilo na původní hodnoty, nebo předem vyhotovit kanály tak, aby se požadovaného časování dosáhlo posléze zvětšením vrtání.

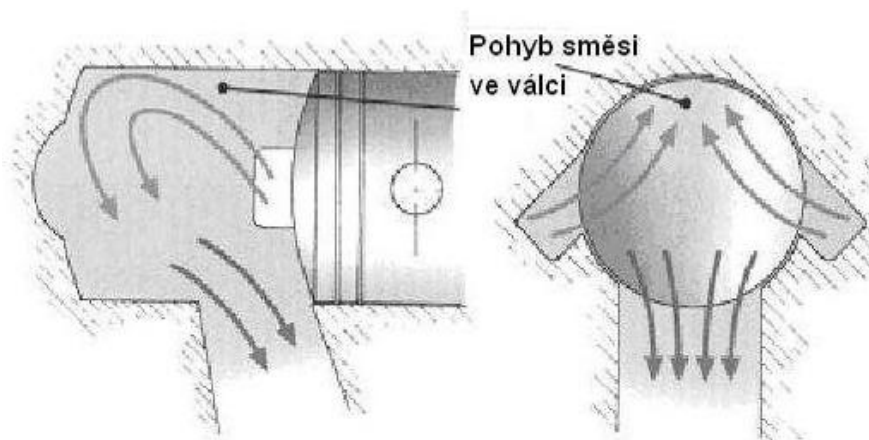
#### 2.4.2. Přepouštěcí kanály

Proto, aby bylo možné popsat jednotlivé detaily přepouštěcích kanálů a jejich dopad na chování motoru, je zapotřebí vzhledem k jejich prostorovým tvarům se odkázat na jednotlivé řezy, pohledy a schémata.



Obr. 13 Podélný průřez pravého přepouštěcího kanálu ve směru proudění

Je důležité podotknout, že samostatná změna některého z detailů válce dvoudobého motoru nemusí vždy způsobit změnu chodu motoru tak, jak bude později popsáno. Záleží totiž i na ostatních komponentech motoru, souhře jednotlivých rozměrů a tvarů, působení rezonancí, apod. Tudíž níže zmíněná tvrzení nemusí platit vždy, ale platí ve většině případů, zejména pokud jsou zásahy prováděny v určitém rozsahu. Na obr. 13 je znázorněn podélný průřez ve směru proudění se zadním pohledem (vpravo). Kóta 35,7 mm ovlivňuje časování, její zmenšení zvětšuje časování a posouvá tak obecně chod motoru do vyšších otáček. Úhel ( $21^\circ$ ) ovlivňuje nasměrování vyplachovacího proudu na dno pístu, nebo na hlavu válce. Zároveň udává ohnutí proudu, které působí jako ztráta a výsledný proud značně zpomaluje. Větší hodnoty úhlu směřují vyplachovací proud k hlavě, to má za následek zvýšení rychlosti vypláchnutí, tj. možnost dosáhnout vyšších otáček, ale zároveň takto směřovaný proud neopláchne tolik dno pístu a tudíž může dojít k přehřívání pístu, které může skončit jeho destrukcí, a to buď propálením, nebo zadřením.



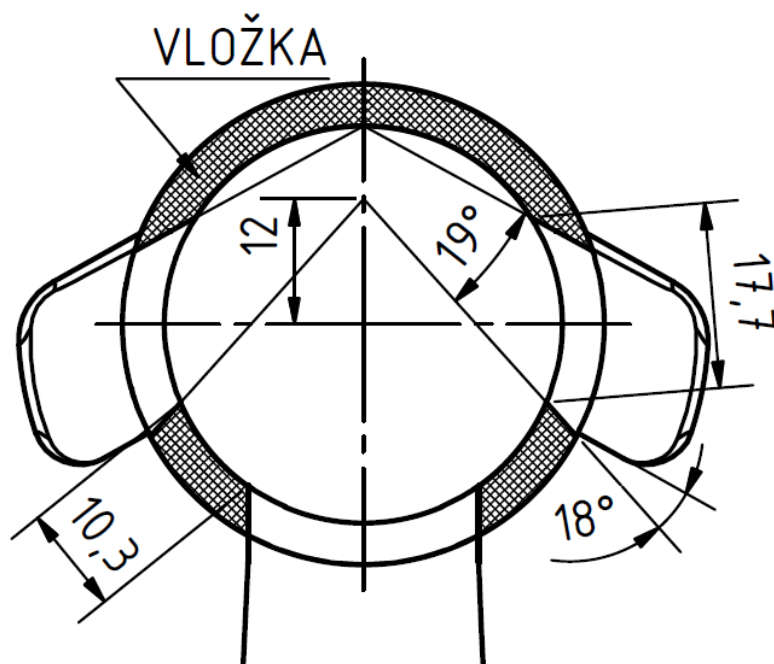
Obr. 14 Pohyb směsi ve válci [18]

Další možnosti, jak urychlit vyplachovací proud a zvýšit průtočnost je usnadnění proudění prostřednictvím přidání materiálu na vnitřní stranu kanálu, tj. na vnější vložky. To souvisí se zvětšením rádiusu ( $R15$ ), který se zmenšuje při snižování hodnot výstupního úhlu ( $21^\circ$ ) při požadavku tečného napojení rádiusu na sousední plochy. Poslední kótou ( $2^\circ$ ) na obr.13 je zúžení šířky kanálu. To zapříčiňuje postupné snižování průřezu po délce kanálu, což má za následek opět urychlení vyplachovacího proudu. Toto zúžení nemusí být nutně konstantní ani realizováno v podobě jako na obr.13. Často bývá zejména v moderních motorech realizované po oblouku nebo obecně křivce a to z vnější i vnitřní strany. Obecně je snaha přepouštěcí kanál mít co nejkratší, délka je ale zdola omezena kvůli zdvihu a délce pístu.



Obr. 15 Šablona přepouštěcího kanálu závodního stroje Malossi

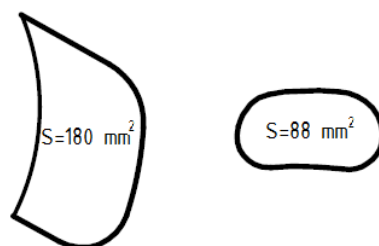
Dalším důležitým schématem je řez kolmý na osu válce ve výstupu z přepouštěcích kanálů.



Obr. 16 Příčný průřez vložkou s přepouštěcími kanály

Vzhledem k tomu, že po otevření výfukového kanálu dochází k prudkému opuštění výfukových plynů vysokou rychlostí, může se stát, že dojde ke stržení čerstvé směsi a k jejímu úniku do výfuku. Tomuto jevu se zabráňuje směřováním přepouštěcích kanálů na horní stranu válce (nahoru dle obr.16). Horní strany proudu se setkávají na horní části vložky, zatímco spodní v bodě, který leží 12 mm nad osou válce. Pokud je geometrie výplachu natolik dobrá a proud je správně usměrněný, je možné mít tento dotykový bod i přímo v ose válce. Spodní hrana je na oněch 12 mm napřímená až ve vložce o  $18^\circ$ , to má za následek zhuštění a urychlení spodní strany proudu, který je pak odolnější, vůči strhnutí výfukovými plyny. Toto napřímení nesmí být příliš prudké, protože by jinak mělo opačný efekt.

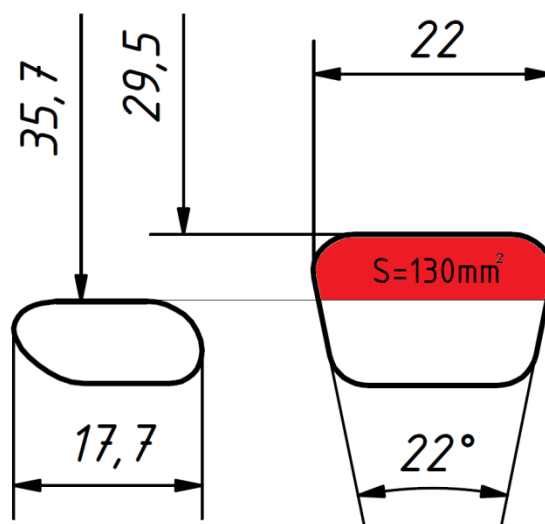
Šířka kanálu (17,7 mm) sice ovlivňuje průtok, ale je shora omezena na cca 65% vrtání. Širší kanál pak způsobuje větší nápor na pístní kroužek, který se do kanálu prohýbá, a to může skončit až rozlomením kroužku. Moderní motory mívají poměr průtočných ploch výstupu ku vstupu přibližně 0,5. Tento fakt sice odpovídá i u motoru Jawa 23, ale změna v průřezu je natolik skoková v oblasti ohybu a vstupu do vložky, že to činí značné ztráty proudícímu plynu. Dalším problémem je také absence rádiusů na vnitřní straně kanálu.



Obr. 17 Porovnání vstupní a výstupní plochy přepouštěcího kanálu

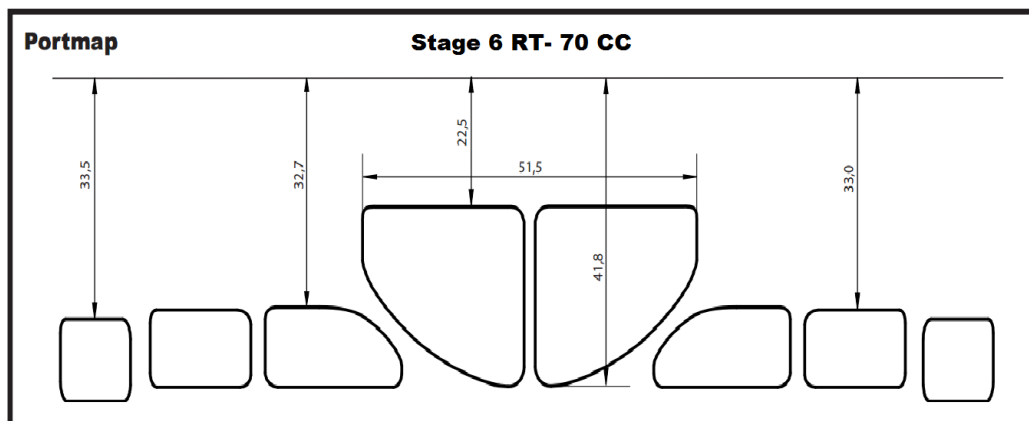
### 2.4.3. Výfukový kanál

Obecným záměrem u výfukového kanálu je mít co největší průtočnou plochu před tím, než se otevřou přepouštěcí kanály. Tato plocha bývá v zahraniční literatuře označovaná jako *blowdown*. Důvodem je snaha mít při otevření přepouštění co nejmenší tlak ve válci a co největší objem výfukových plynů mít odveden z válce.



Obr. 18 Schematické vyznačení plochy *blowdown* sériového válce

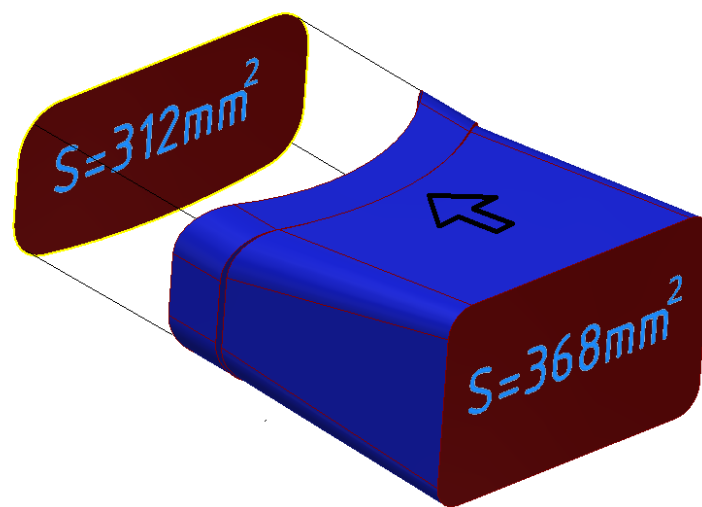
Zbytková plocha již není tolik důležitá, z tohoto důvodu má sériový kanál lichoběžníkový tvar. Plochu *blowdown* je možno zvětšovat rozšířením kanálu nebo posunutím horní hrany kanálu blíže k HÚ. Rozšíření je možné přibližně do rozměru 65% průměru vrtání. Maximální přípustná šířka je ale závislá na materiálu pístních kroužků, které při přejíždění velkých kanálů odolávají velkému zatížení. Zatížení je možné snížit vhodným zaoblením průtočné plochy např. elipsoidním či oválným tvarem. Tyto tvary zase nemají tak velké průtočné plochy v horní části kanálu jako lichoběžníkový tvar. Proto bývá často kanál rozdělen na dva, nebo jsou nad přepouštěcími kanály další pomocné výfukové otvory. Posunutí horní hrany ovlivňuje časování, velké časování není ale vhodné pro provoz v nižších otáčkách, proto bývají často nové motory osazeny výfukovou přívěrou. Ta je ale v silničních závodech motocyklů Jawa 50 zakázaná, proto se o ní nebudu již dále zmiňovat.



Obr. 19 Zdvojený výfukový kanál motoru Stage 6 [17]

#### 2.4.4. Sací kanál

Sacím kanálem proudí směs ze sacího potrubí pod píst do klikového prostoru. Vzhledem k vysokým rychlostem nejsou žádoucí náhlé změny tvarů a průřezů. Obvykle se má průřez sacího potrubí od difuzoru karburátoru do válce mírně rozšiřovat. V sériovém rozpoložení se průřez sacího potrubí rozšiřuje z difuzoru o průměru 17 mm až na vstupní plochu sacího kanálu (viz.  $368 \text{ mm}^2$  na obr.20) a poté se náhle zužuje o 15%. Tento nežádoucí stav je pravděpodobně zapříčiněn přívodním potrubím k válci, jehož vnitřek byl vyhotoven litím okolo trnu, který bylo nutné posléze vyndat. Aby vstupní plocha do přívodního potrubí nebyla příliš malá, bylo pro zachování technologických úkosů trnu zvětšit výstupní plochu sacího potrubí. Následné zúžení k vložce válce bylo nutné vzhledem k omezené výšce kvůli časování sání a maximální šířce sacího kanálu.



Obr. 20 Sací kanál sériového motoru.

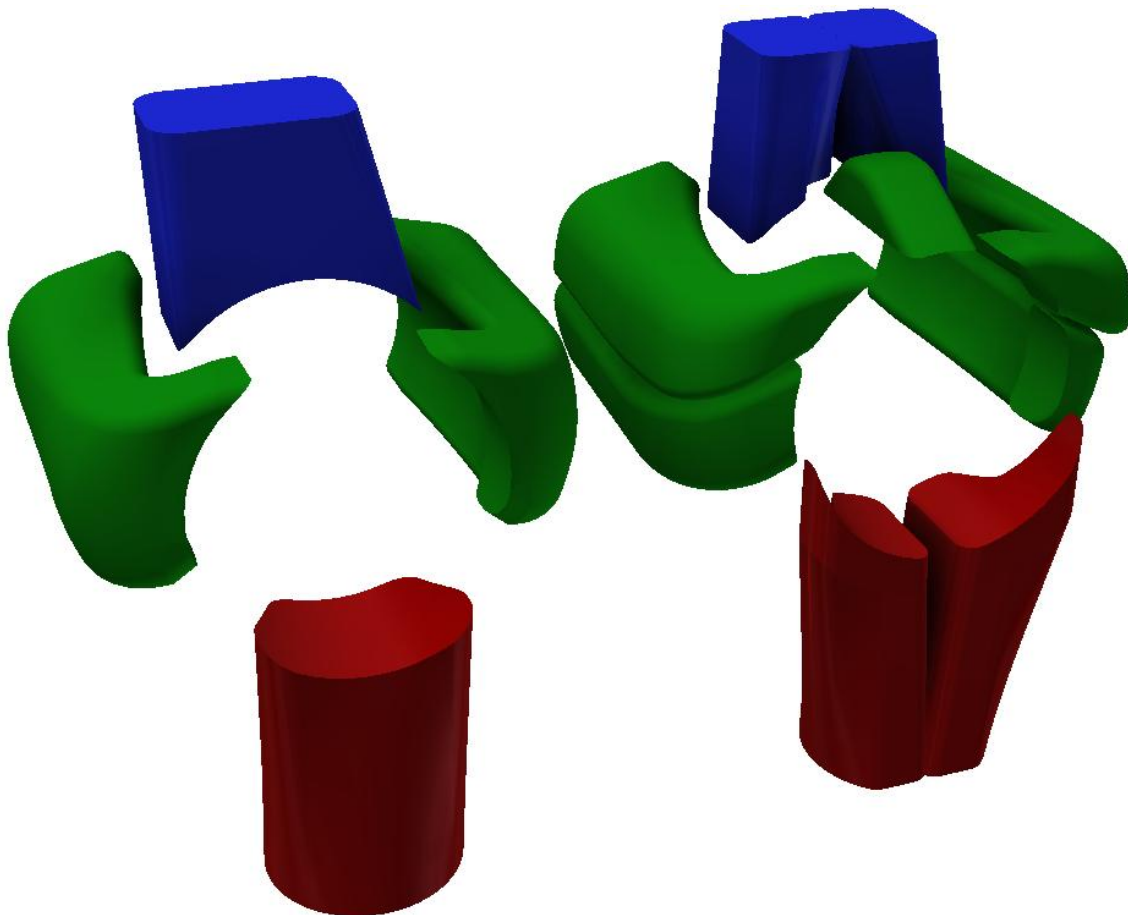
Toto zúžení je velkým nedostatkem, neboť by se měl průřez naopak rozšiřovat kvůli tomu, že není po celou dobu nasávání kanál zcela otevřen. Maximální šířka sacího kanálu je shora omezena přibližně na 75 % průměru vrtání a na 90% šířky zadní části tzv. sukňe pístu, při větší šířce se značně zvyšuje riziko vytloukání spodní hrany pístu.



### 3 Konstrukční návrh

V rámci této práce budou navrhovány dvě základní varianty válců. Jedna bude vycházet ze sériové vložky a veškeré úpravy budou prováděny pouze odebráním materiálu, neboť právě tak zní jedno z omezení pravidel pro kategorii Jawa RS v silničních závodech ČR. Tato varianta bude dále označována jako dvoukanálová. Ačkoli má dohromady čtyři kanály jako sériový válec, je všeobecnou zvyklostí válce označovat těmito přívlastky právě podle počtu přepouštěcích kanálů, nikoli všech. Sériové rozpoložení, tj. dva přepouštěcí, jeden výfukový a jeden sací, je také jedním z omezení pravidel pro kategorii Jawa RS.

Druhá varianta bude vycházet z nového polotovaru z důvodu nového rozmístění všech kanálů, kvůli tomu je rovněž nutné vyvařit původní kanály v hliníkových obalech válce tak, aby nic nebránilo zhotovení zdvojeného sacího, zdvojeného výfukového kanálu a pěti přepouštěcích kanálů. Kvůli tomuto uspořádání bude tato varianta dále označována jako pětikanálová.

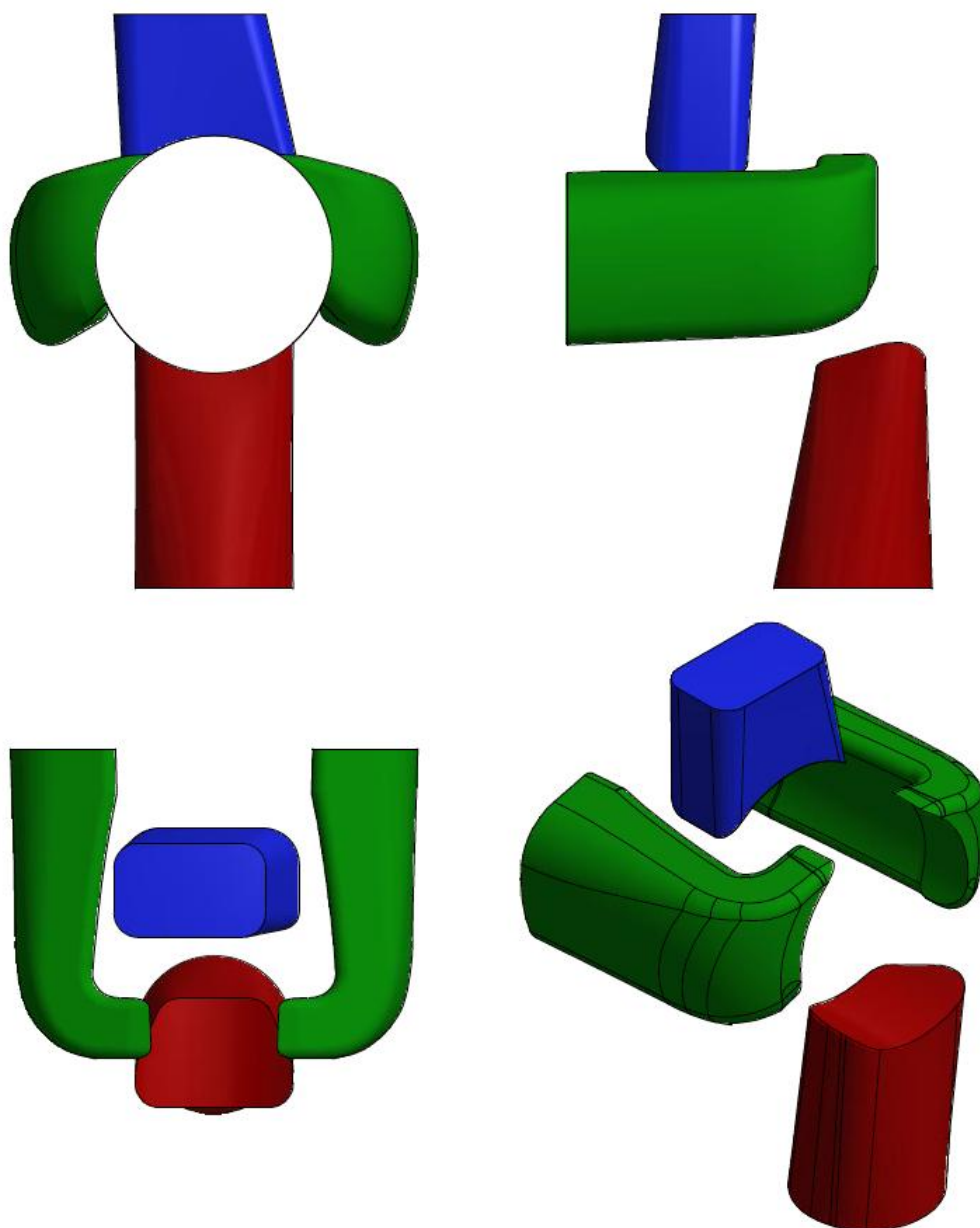


Obr. 21 Negativy kanálů dvou a pětikanálové varianty

### 3.1. Návrh dvoukanálové varianty

Pravidla kategorie Jawa RS zakazují navýšení počtu kanálů, toto omezení společně se zákazem přidávání materiálu do válce značně omezuje maximální dosažitelné výkonové parametry. To ale neznamená, že by motocykl kategorie Jawa RS nebyl nikterak silný. Motocykly této kategorie jsou schopny na závodních okruzích překonávat rychlost 100 km/h.

K tomu, aby bylo možno navrhnout vložku válce tak, že v motoru konkurenceschopného stroje bude na závodech v předních pozicích, je zapotřebí navrhnout nejprve negativy všech kanálů tak, aby bylo možno kanály následně obrobit ve vložce i v hliníkovém obalu zvlášť. Nyní budou rozebrány technické detaily dvoukanálové varianty společně se způsobem návrhu a modelování v programu Autodesk Inventor.



Obr. 22 Dvoukanálová varianta

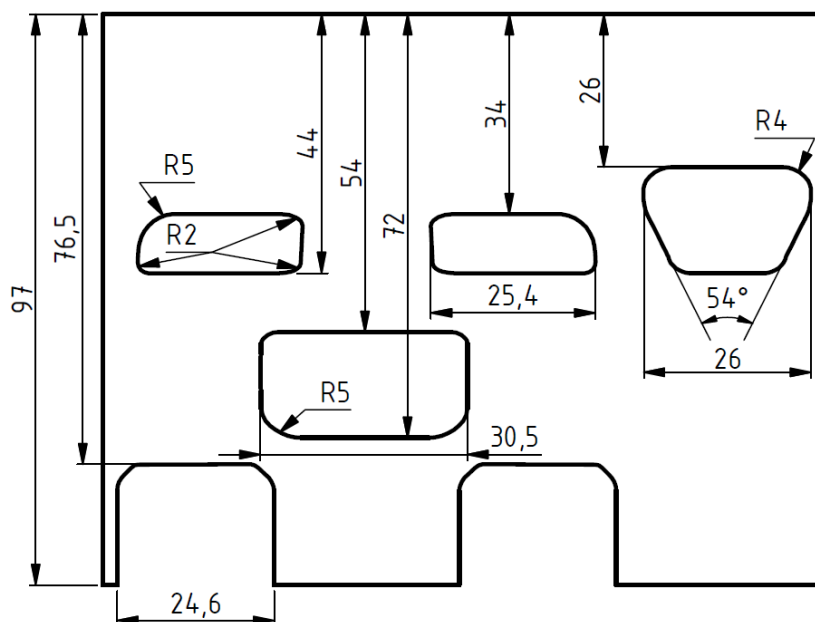
### 3.1.1. Rozvin pláště vložky a časování

Při návrhu časování byl potřeba zohlednit rozsah provozních otáček, se zvětšujícími se otáčkami se při neměnném krouticím momentu sice zvyšuje výkon motoru, ale existují jistá konstrukční omezení, kvůli kterým není vhodné překračovat s otáčkami určitou mez. V pravidlech pro třídu Jawa RS není povolen jiný primární řetěz než 062C, ten vzhledem ke své vysoké hmotnosti není vhodné zatěžovat vysokými otáčkami. V praxi se osvědčilo, že není příliš vhodné s tímto originálním řetězem přesahovat 11 000 ot/min. Pro provoz motoru v otáčkách blízké se této mezi se v praxi osvědčily následující hodnoty časování.

sání	162,3°
přepouštění	125,5°
výfuk	172°

Tab. 2 Hodnoty časování dvoukanálové varianty

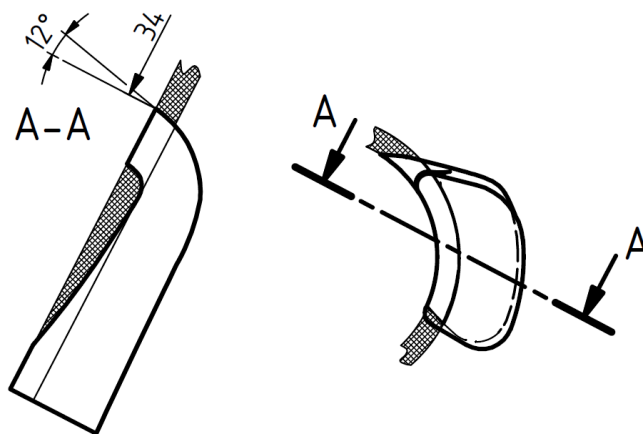
Těmito hodnotám časování přísluší rozměry v portmapě na obr. 23 při délce pístu 51 mm. Z hlediska spolehlivosti je třeba dbát na maximální šířky jednotlivých oken. Vzhledem k tomu, že pístní kroužek bude kvalitní ocelový s pochromovanou kluznou plochou namísto původních křehkých kroužků, je možné rozšířit přepouštěcí kanály až na šířku 25,4 mm, což odpovídá 65% vrtání. Tuto enormní šířku je ale zapotřebí doplnit zaoblenými rohy a rádně sraženými hranami, aby se zmenšil nápor na pístní kroužek. Výfukový kanál byl navržen ještě širší, neboť má větší zaoblení rohů (viz. kóta R4). Sací kanál byl rozšířen na 29 mm neboť širší sací okno by mohlo způsobit zakopávání zadní hrany pístu, která je široká 32 mm. Tvary jednotlivých kanálů v rozvinu zachycuje portmapa na obr. 23.



Obr. 23 Portmapa dvoukanálové varianty

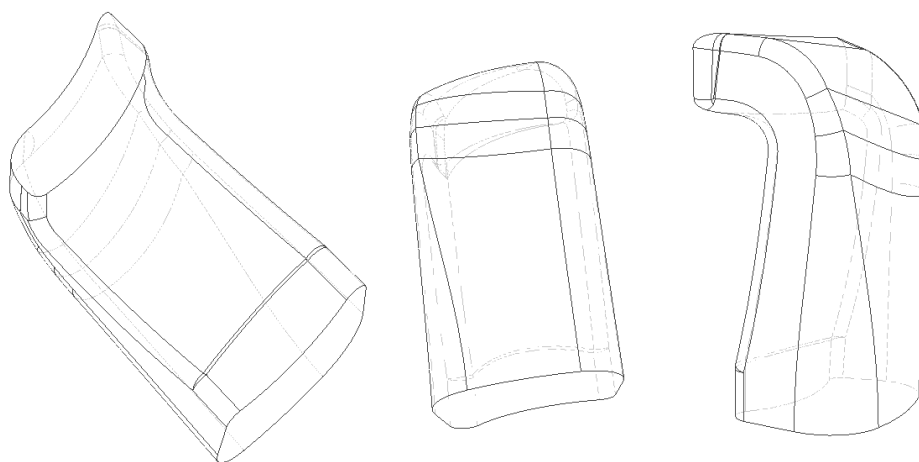
### 3.1.2. Přepouštěcí kanály

Přepouštěcí kanál je nejsložitějším kanálem na modelování. Prve byl modelován pravý a levý byl následně zrcadlen. Nyní bude nastíněn pouze přibližný popis průběhu modelování, protože celkový popis je značně složitý a obsáhlý.



Obr. 24 Podélný průřez pravého přepouštěcího kanálu ve směru proudění

Prvním krokem bylo vytvoření dostatečně velkého objektu, který je možné následně ořezávat. Svým způsobem je průtočná plocha kanálu v celé délce tvořena čtyřúhelníkem se zaoblenými rohy, kdy delší strany nejsou přímkové nýbrž obloukové. Proto stačilo objekt ořezat ze čtyř stran a rohy následně zaoblit proměnným poloměrem. Pro oblouková ořezání bylo nutné definovat trajektorie, po kterých dochází k ořezávání prostřednictvím spojení dvou náčrtů. Tyto náčrty jsou tvarově podobné podélnému průřezu na obr. 24. Náčrty byly vytvářeny tak, aby byly geometricky podobné s průřezy přepouštěcích kanálů v závodních válcích, a to jak v motocyklech Jawa 50, tak i v továrních strojích zahraničních značek. Tyto praxí osvědčené průřezy byly získány pomocí plechových šablon použitých jako nožové pravítko. Šablony jsou vyfotografovány na obr.26. Protože tyto náčrty leží v rovinách, jejichž průsečnice neprotíná středy obloukových trajektorií, po kterých probíhá ořezání tělesa, nemohou být oba náčrty totožné ani provedené žádným jednodušším prvkem. Náčrty jsou tvořeny vícero křivkami kvůli hladšímu vedení vyplachovacího proudu na rozdíl od sériových kanálů.



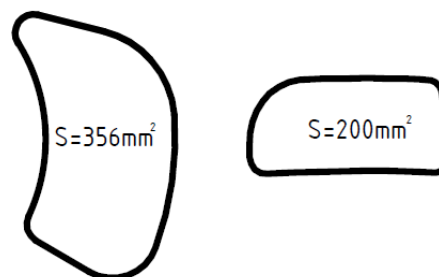
Obr. 25 Drátový model přepouštěcího kanálu

Rovinná ořezání z horní a dolní strany kanálu bylo potřeba provést tak, aby vyústění kanálu bylo na požadovaném místě. Předposledním krokem bylo zaoblení. Hrany na vnějšku kanálu bylo zapotřebí zaoblit proměnným poloměrem tak, aby se poloměr postupně zmenšoval a to nelineárně v závislosti na vzdálenosti od vstupu. Posledním krokem byla kontrola rozměrů a tečné návaznosti jednotlivých ploch v řezech desítkami rovin.



Obr. 26 Plechové šablony s podélnými průřezy závodních válců

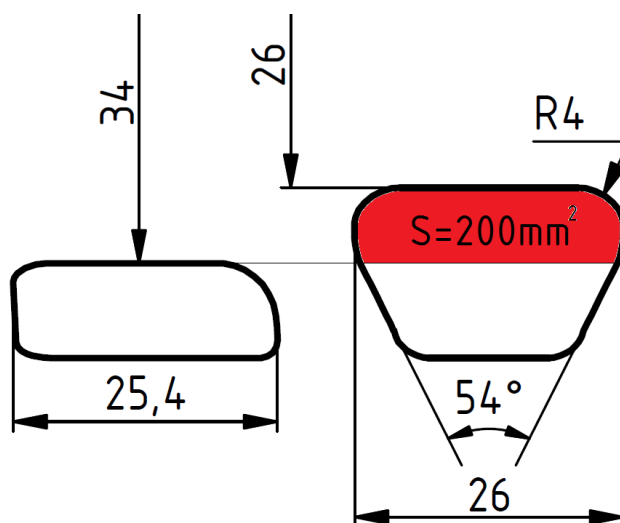
Důležitým údajem jsou průtočné plochy vstupu a výstupu. Výstupní plocha je zvětšena oproti originálnímu provedení více než dvakrát resp. o 127%. Poměr výstupní ku vstupní průtočné ploše je 56%.



Obr. 27 Porovnání vstupní a výstupní plochy přepouštěcího kanálu

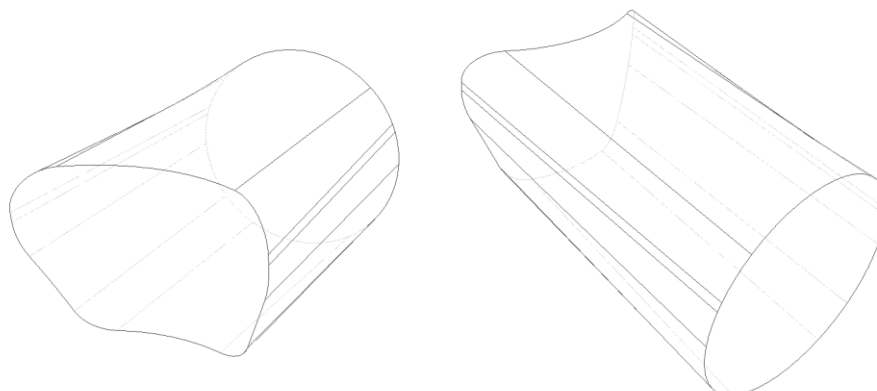
### 3.1.3. Výfukový kanál

Zvětšení průtočné plochy bylo provedeno pouze ve výstupu ze spalovacího prostoru. Kruhový výstup z válce o průměru 26 mm byl ponechán, neboť byl z výroby naddimenzován z důvodu špatné kvality tehdejších olejů tvořící velké množství úsad, a také z důvodu zaručení dostatečné průtočnosti skrze výfukový svod, jehož délkou více než 300 mm a konstantním průměrem 26 mm je odvod spalin značně omezen. Závodní výfuky tuto dlouhou část s neměnným průměrem většinou nemají, nahrazuje ji mnohem kratší svod a následně rozšiřující se část výfukového rezonátoru. Vstupní plocha výfukového kanálu byla navržena tak, aby měla pokud možno co největší průtočnou plochu v okamžiku otevření přepouštění tzv. blowdown s ohledem na namáhání pístního kroužku.



Obr. 28 Schematické vyznačení plochy blowdown dvoukanálové varianty

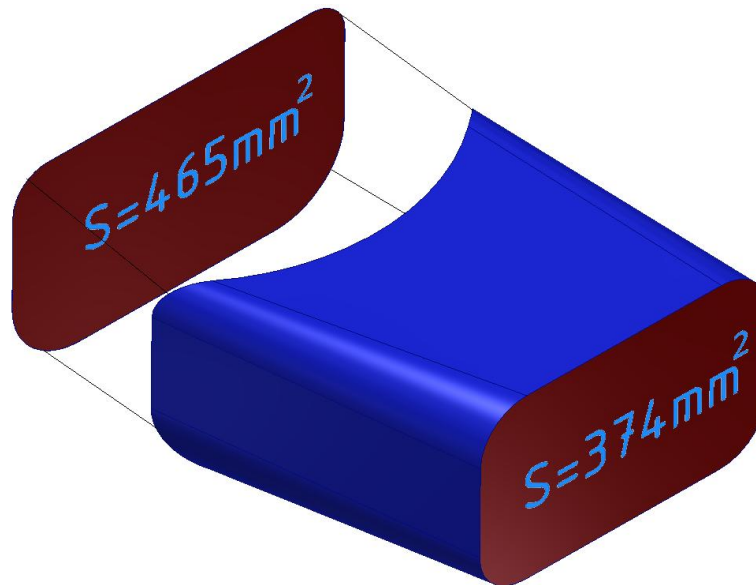
Výfukový kanál dvoukanálové varianty je stran modelování velmi jednoduchý. Jedná se o přímkové spojení náčrtů vstupní a výstupní plochy.



Obr. 29 Drátový model výfukového kanálu

### 3.1.4. Sací kanál

Průtočná plocha sacího kanálu byla zvětšena jak ve vstupu, tak i ve výstupu. Bylo nutno dbát na rozšiřování průřezu, ten se rozšiřuje o 24%. Toho bylo docíleno přímkovým spojením dvou náčrtů podobně jako u výfukového kanálu. Výstupní průřez tj. ve vložce byl zvětšován pouze do šířky a ve směru od hlavy motoru, a to proto, aby sání bylo co nejdéle nepřerušováno pístem.



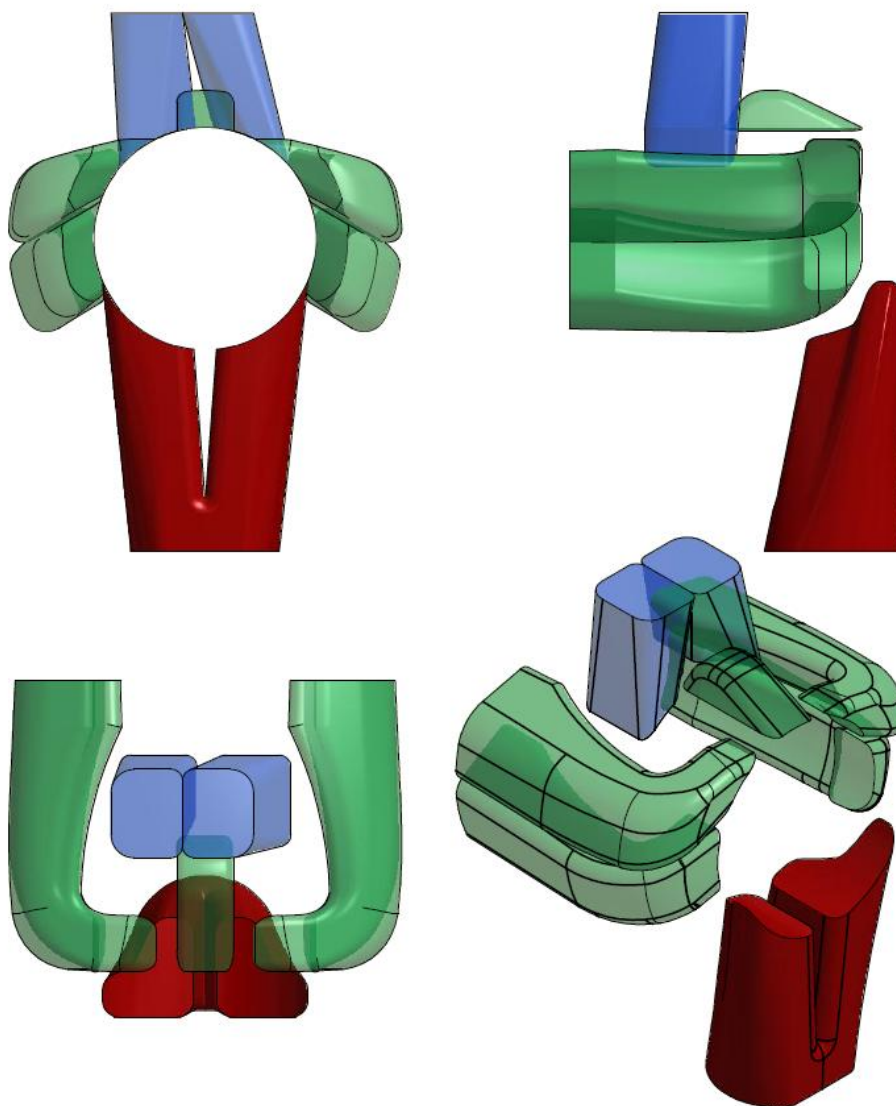
Obr. 30 Sací kanál dvoukanálové varianty.

Pro sací kanál takový, jak je vyobrazen výše, je výhodné použití karburátoru s průměrem difuzoru 21mm kvůli tomu, že obsah průřezu sacího potrubí, který je stejný se vstupem do sacího kanálu, je o 5 až 10% větší než obsah průřezu difuzoru.

### 3.2. Návrh pětikanálové varianty

Pětikanálové uspořádání má mnohem sofistikovanější systém vyplachování válce. Vzhledem k možnosti tvorby přepážek již přestávají problémy s pístními kroužky vlivem příliš širokých kanálů. Tento válec by pak měl mít delší životnost a bude možná jej použít v širším rozsahu závodů, např. terénní motokrosové závody, vícehodinové atd. Životnosti rovněž přispěje pátý prepouštěcí kanál, jehož vliv bude popsán později.

Vzhledem k tomu, že dvoukanálová varianta byla navržena pro kategorii Jawa RS, mohlo by se jevit, že od pětikanálové varianty bude očekávána konkurenceschopnost vůči strojům kategorie Jawa GP. V této kategorii ale soutěží stroje s víceúhňovými převodovkami s nesymetrickými rozvody sání, zvětšenou chladicí plochou a jinými nákladnými zásahy, které dávají všanc válcům s vyššími výkonovými parametry na úkor jejich rozsahu, které by naopak nebylo vhodné používat v terénních závodech.



Obr. 31 5K varianta



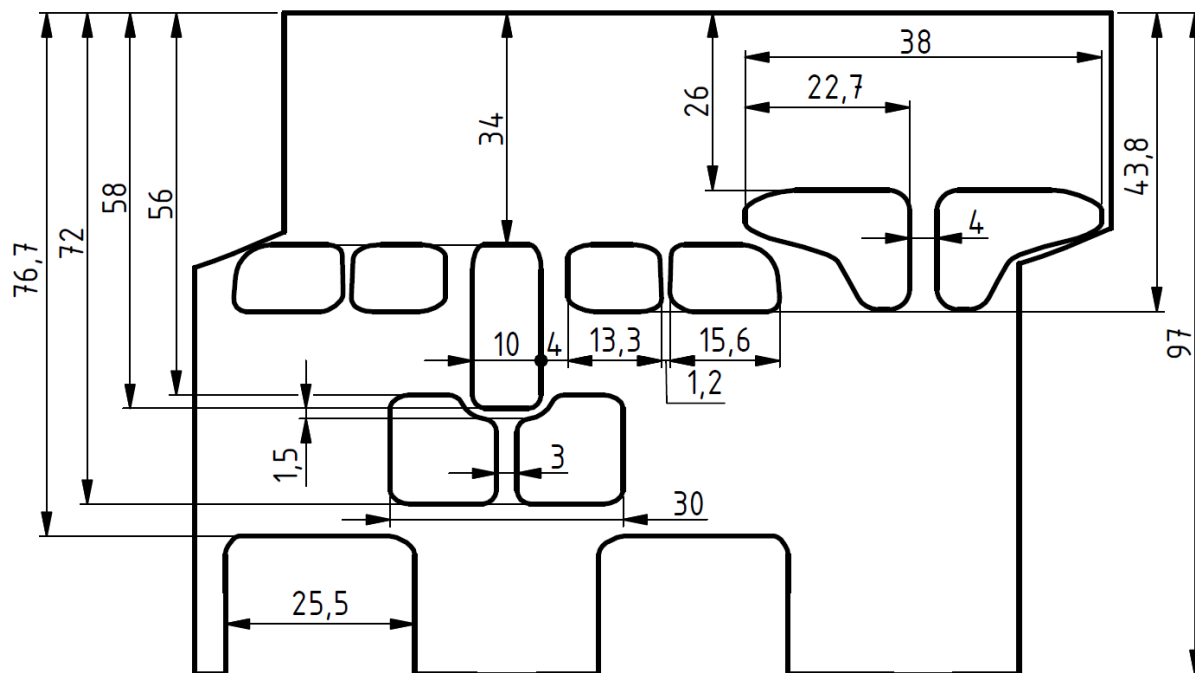
### 3.2.1. Rozvin pláště vložky a časování

Jedním z konstrukčních omezení pro provozní otáčky byl primární řetěz, jehož negativum bylo popsáno u dvoukanalové varianty. Dalším omezením pro maximální otáčky je fakt, že by se pětikanalová varianta měla dát použít i v terénních závodech, kde je zhoršená funkce náporového chlazení vlivem menších rychlostí a většího znečištění chladících ploch motoru. Dalším omezením je možnost použití karburátoru Jikov 2917 psb, jenž je předepsán pravidly v některých kategoriích závodů Šumavského poháru. S otáčkami přesahujícími 11 000 ot/min se vlivem zastaralé konstrukce tohoto karburátoru rasantně zvyšuje pravděpodobnost selhání motoru vlivem špatné kvality směsi.

sání	162,3°
přepouštění	125,5°
výfuk	172°

Tab. 3 Hodnoty časování pětikanalové varianty

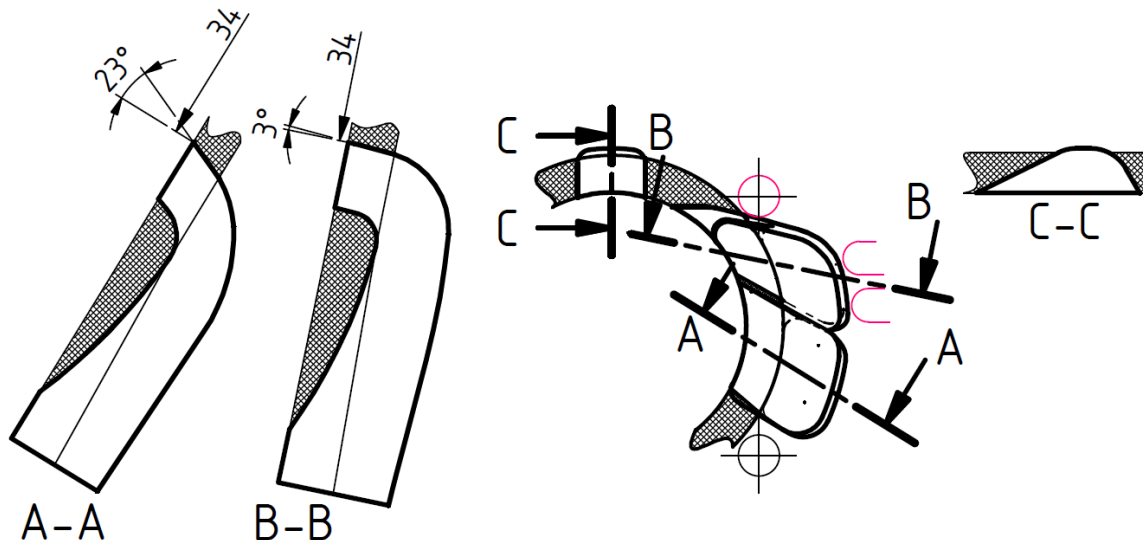
Tímto je zde de-facto kladen stejný nárok na rozsah provozních otáček jako u dvoukanalové varianty, a proto je zde navrženo stejné časování, viz. tab. 3. Těmto hodnotám časování přísluší rozměry v portmapě na obr. 32 při délce pístu 51 mm. Důležitými rozměry ohledně spolehlivosti a bezpečnosti jsou šířky přepážek mezi jednotlivými kanály. Nejvíce namáhaná přepážka je mezi výfukovými okny, a to jednak deformací jako následkem vysoké teploty a také otěrem, neboť se zde špatně drží mazací film.



Obr. 32 Portmapa pětikanalové varianty

### 3.2.2. Přepouštěcí kanály

Uspořádání přepouštěcích kanálů je složitější oproti dvoukanalové variantě. Vyskytují se zde dva páry přepouštěcích kanálů a jeden lichý (pátý), který bývá často označován jako zadní. Kanály jsou označeny písmeny ABC podle vzdálenosti od výfuku.



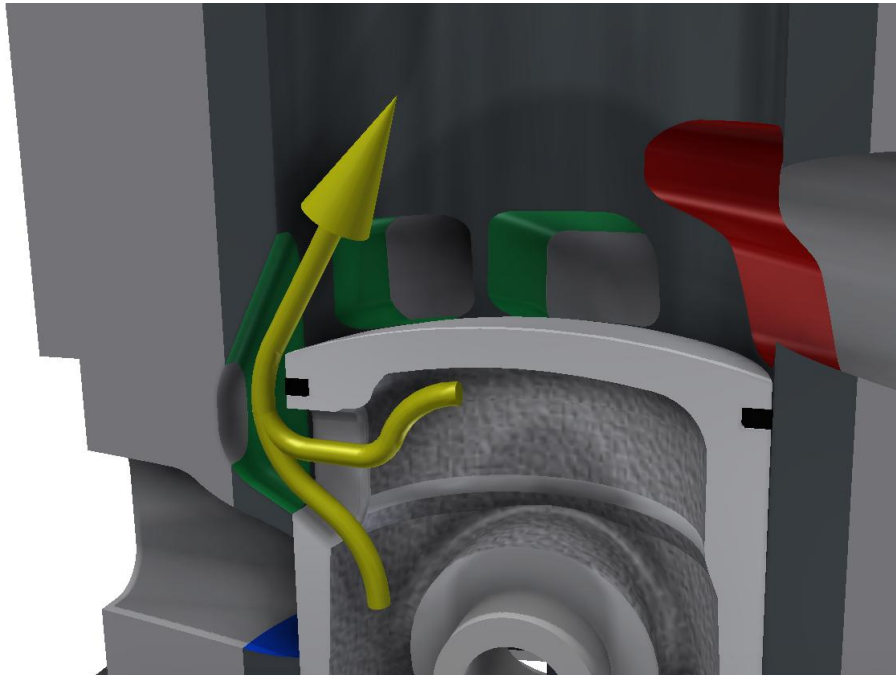
Obr. 33 Podélný průřez pravých přepouštěcích kanálů ve směru proudění

Modelování kanálů proběhlo obdobným principem, jako u dvoukanalové varianty. Rozdílem je větší obtok kanálů, neboť kanály obklopují vložku s větším průměrem, tj. 50 mm namísto původních 46 mm. To zlepšuje usměrnění vyplachovacího proudu a zároveň se tak kanály více podobají těm, které jsou ve válcích závodních strojů. Toto celkové rozšíření vyplachovacího systému vlivem zvětšení průměru vložky už hraničí s omezením vnějších rozměrů, neboť při ještě větším rozšíření by došlo k propadnutí do žebrování válce, jež je červeně znázorněno na obr. 33. Kvůli této tenké stěně bude zapotřebí přizpůsobit řezné podmínky tak, aby nedošlo k její destrukci.

Kanály B v moderních strojích bývají ještě více vzdáleny od výfuku, tomuto připodobnění do válce Jawa 50 brání horní svorníky. Umístění svorníků pro upevnění válce je v pravidlech valné většiny závodu zakázáno měnit. Proto je opět kanál posunut co nejdále tak, aby proudění nebránil samotný svorník, otvory pro svorníky jsou v hliníkovém obalu válce předlity a jejich poloha má poměrně velkou toleranci. Proto hrozí propadnutí do tohoto otvoru, které se následně opraví vlisováním trubkovité vložky s vnitřním průměrem pro průchod svorníku se závitem M6.

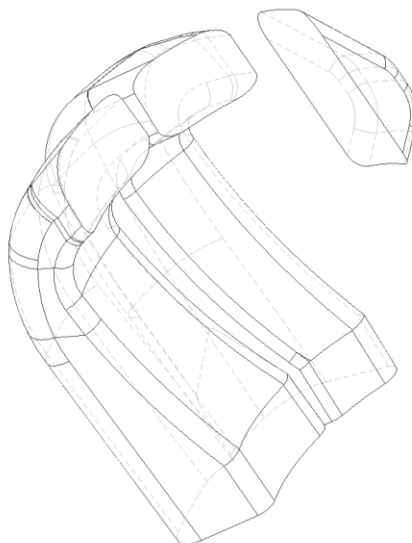
Hliníková přepážka mezi kanály A a B je kvůli zajištění co největší průtočné plochy velice tenká. Vzhledem k tomu že bude tvořena materiálem nikoli původního obalu nýbrž materiálem návaru, který je velmi pórovitý, hrozí při obrábění k jejímu zborcení. Z tohoto důvodu bude zapotřebí v této oblasti volit malou hloubku řezu a kanály A a B obrábět střídavě.

Další modifikací vyplachování je zadní přepouštěcí kanál, jehož podstata se od dosud zmiňovaných kanálů liší. Jím vedený proud prostupuje skrze okénko v pístu umístěném těsně pod pístním kroužkem. Použití zadního kanálu napomáhá usměrnění vyplachovacího proudu, zrychluje jej a navíc ochlazuje píst, neboť směs, která je uvnitř pístu, je intenzivně ohřívána od jeho dna a může proudit okénkem nad píst.



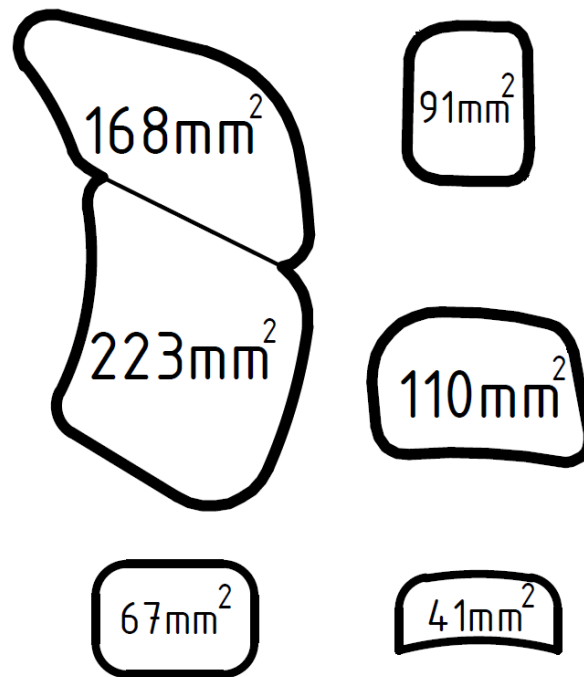
*Obr. 34 Podélný řez pátého kanálu s vyznačením zadního vyplachovacího proudu*

Nasměrování vyplachovacího proudu směrem k hlavě válce sice podporuje usměrnění směrem vzhůru a je tím zmenšen ohyb, který je pro proud ztrátou, ale zároveň se tím zmenšuje průtočná plocha kanálu. Proto bývá výstupní úhel od podélné osy válce v rámci kompromisu přibližně  $30^\circ$ .



*Obr. 35 Drátový model pravých kanálů se zadním kanálem*

Na obr. 36 je porovnání vstupních a výstupních průtočných ploch pětikanálové varianty, vlevo dole je okénko v pístu, jenž tvoří vstupní průřez do pátého kanálu. Průtočná plocha zadního kanálu zde tvoří slabých 10% celkové přepouštěcí plochy. Podobně je tak tomu i u moderních strojů, kde ale směs neprochází okénkem v pístu, nýbrž stejným způsobem jako kanály A a B. Toto řešení u válce Jawa 50 při zachování symetrického rozvodu sání postrádá smysl, neboť v cestě překáží sací kanál.

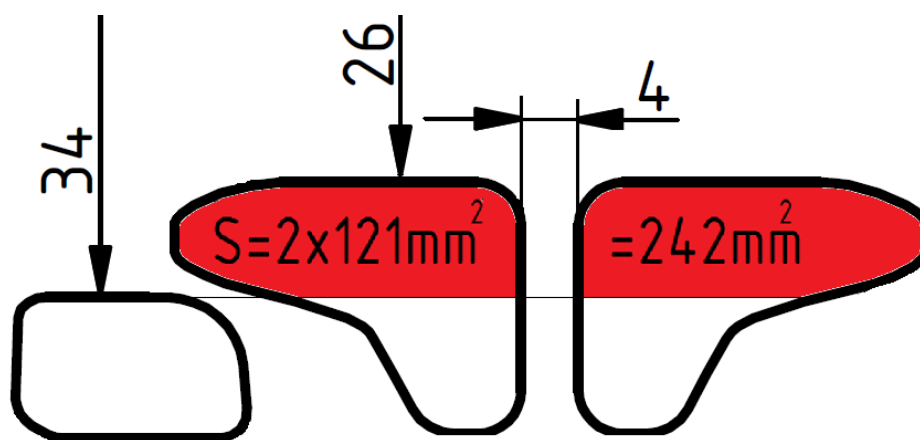


Obr. 36 Porovnání vstupních a výstupních přepouštěcích ploch (shora B,A,C)

Věčným dilema je načasování jednotlivých přepouštěcích kanálů vůči sobě. Různé závodní stroje používají odlišné pořadí otevření, které bývá často posléze dodatečně upravováno. V praxi bývá rozdíl časování v řádu jednotek stupňů, zde se všechny kanály otvírají ve stejný okamžik.

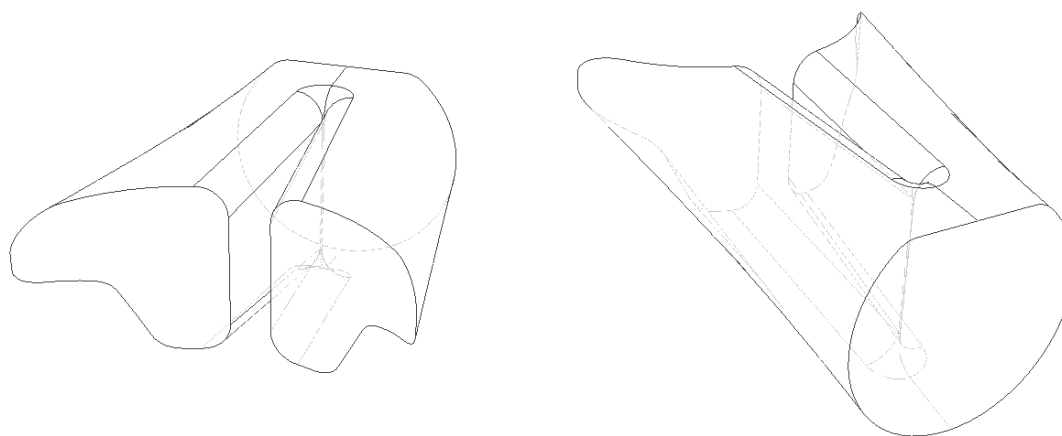
### 3.2.3. Výfukový kanál

Zdvojený výfukový kanál umožňuje dosažení větší průtočné plochy zejména v oblasti před otevřením přepouštění. Nevýhodou je obtížné chlazení přepážky, neboť je velkým povrchem ve styku s horkými spalinami a malým povrchem ve styku s válcem. Zvýšená teplota přepážky zhoršuje funkci mazacího filmu, který se na stěně válce vytváří. Tento efekt ještě umocní ohřev přepážky zvýšením tření, následkem je zadíraní pístu a vydření drážky do pístního kroužku. Aby se tomuto jevu předešlo, je zapotřebí udělat přepážku dostatečně silnou a zvýšit její chlazení stykem s hliníkovým obalem. Z tohoto důvodu je zapotřebí zavařit výfukový kanál v hliníkovém obalu, neboť návarový materiál bude po vyfrézování kanálu tvořit hliníkovou přepážku, která bude stykem s litinovou přepážkou podporovat chlazení.



Obr. 37 Schematické vyznačení plochy blowdown pětikanálové varianty

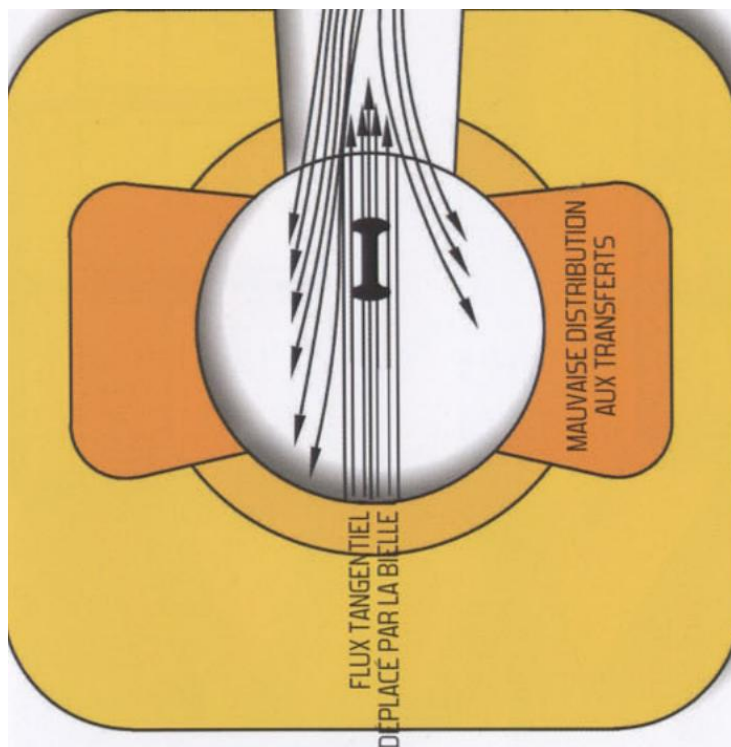
Modelování proběhlo přímkovým spojením výstupní a vstupní plochy bez přepážky, která byla následně do negativu vyříznuta a napojení přepážky zaobleny. Výstupním průřezem již není kruh, ale tvar připomínající písmeno D, na který přiléhá výfukový svod kruhového průřezu. Touto změnou průřezu je využit Coandův jev, díky němuž se rázovou vlnou směs vrací unklá směs do uzavírajícího se výfukového kanálu.



Obr. 38 Drátový model výfukového kanálu

### 3.2.4. Sací kanál

Zdvojení sacího kanálu by se mohlo jevit ze všech pohledů jako proudová ztráta. Proud nasávané směsi ale nekončí na vyústění do válce, další překážkou pro nasávaný proud směsi je ojnice. Přepážka jednak slouží tedy jako rozdělení proudu pro snazší obtékání ojnice viz. obr. 39. A zároveň jako podpora pro zamezení vniknutí zadní části pístu do kanálu, čímž se snižuje rázové namáhání řídicí hrany pístu a následné vytloukání.



Obr. 39 Ojnice jako překážka pro nasávanou směs [6]

Vstupní plocha kanálu je stejná jako u 2K varianty, výstupní plocha je zmenšena o přepážku a výstupek pro pátý kanál. I tak je stále vhodné použít karburátor s difuzorem 21 mm, důvodem je to, aby vzájemné porovnání obou variant proběhlo za stejných podmínek, tj. i se stejným karburátorem.

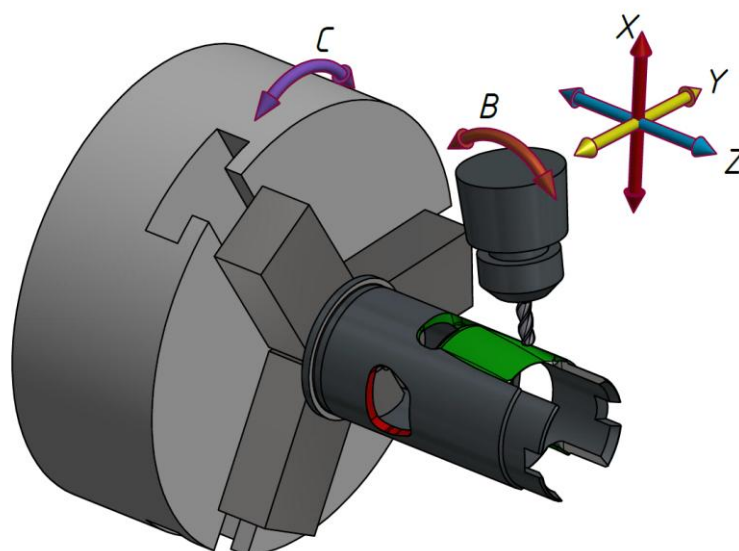
## 4 Návrh technologie

K tomu, aby bylo možné vyrobit vložku 5K varianty, je zapotřebí soustružení a frézování. Pro výrobu vložky RS varianty stačí pouze frézování, protože veškeré rotační plochy zde zůstávají původní. Pro frézování obou variant je zapotřebí vzájemný pohyb obrobku a nástroje minimálně v pěti směrech, kdy tři z nich jsou posuvné a zbylé dva jsou rotační. Svou podstatou se tedy bude jednat o pětiosé frézování, které je vzhledem k povaze obrobku a potřebě soustružení ideální provádět v soustružnicko-frézovacím centru. Oním centrem je stroj CTX BETA 1250 TC umístěný v hale Regionálního technologického institutu v Plzni.



Obr. 40 Soustružnicko-frézovací centrum [5]

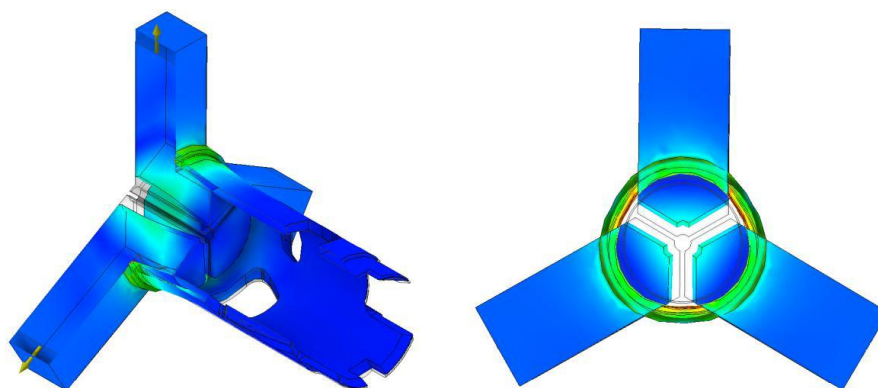
Kinematiku pětiosého frézování objasňuje obr.41. V kartézských souřadnicích XYZ se pohybuje vřeteno s nástrojem, které se navíc může otáčet ve směru B. Ve směru C se natáčí obrobek vůči nástroji.



Obr. 41 Schéma použitých směrů při frézování

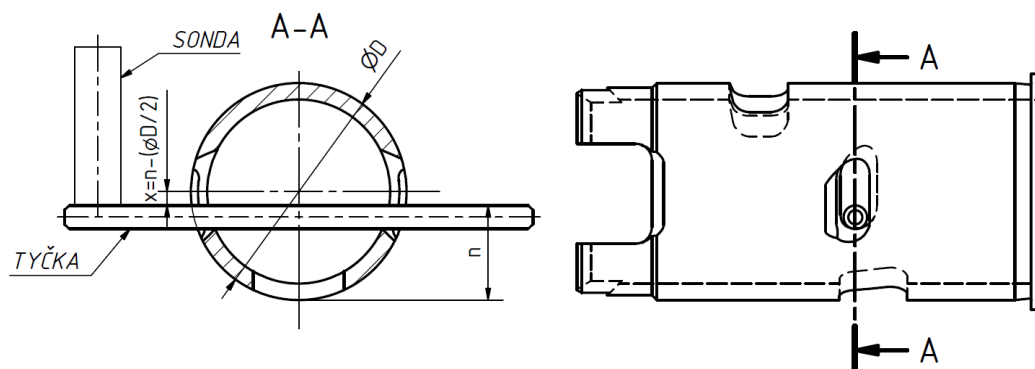
#### 4.1. Návrh upnutí

Vzhledem ke tvaru polotovaru a vložek obou variant, kdy je nutné frézovat i soustružit, bylo zapotřebí stanovit zvláštní požadavky na upnutí. Prvním požadavkem je soustřednost vřetene a válcových ploch vložky. Druhým požadavkem je vyváženost kvůli soustružení a potřebě dosažení otáček větších než 300 ot/min. Optimálním řešením bylo shledáno upnutí vnitřními měkkými čelistmi v univerzálním sklíčidle. Rizikem tohoto upnutí je destrukce vložky, zejména u varianty RS kvůli tenčí stěně. Stav napjatosti byl zjištěn pevnostní analýzou metodou konečných prvků. Proto, aby se destrukci předešlo, bylo zapotřebí snížit tlak hydraulického systému pro ovládání čelistí z hodnoty 30 bar na 13 bar. Předpoklad dostatečné tuhosti upnutí a odstranění tvorby plastické deformace obrobku byl ověřen na zkušebním kusu.



Obr. 42 Stav napjatosti Von Mises

Dále bylo zapotřebí správně nastavit vložku vůči souřadnicovému systému. Umístění středu, tj. osy vložky je dáno samo o sobě, neboť je upnuta za vnitřní čelisti, tímto je podchyceno vyrovnaní ve směrech X, Y. Doražením na čelo čelistí jsou podchyceny směry Z, B. Zbývá pátý směr C. Ten není nutné řešit u varianty 5K, protože polotovar je rotačně symetrický. U varianty RS je zapotřebí toto natočení přesně zafixovat, aby zvětšení kanálů bylo správně orientováno vůči kanálům původním. Princip, jakým to bylo provedeno znázorňuje obrázek 43. Po provlečení tyčky skrze přepouštěcí kanály byl odměřen posuvným měřítkem rozměr  $n$ . Po přepočtu byla do kýžené polohy nastavena sonda, o jejíž čelo se tyčka opřela. Natačením vložky s tyčkou na čelistech byla nalezena poloha, kdy se tyčka dotýká ve třech bodech, tj. čelo sondy, a obě hrany přepouštěcích kanálů. V tomto okamžiku došlo k vynulování směru C a tím bylo provedeno veškeré vyrovnaní.

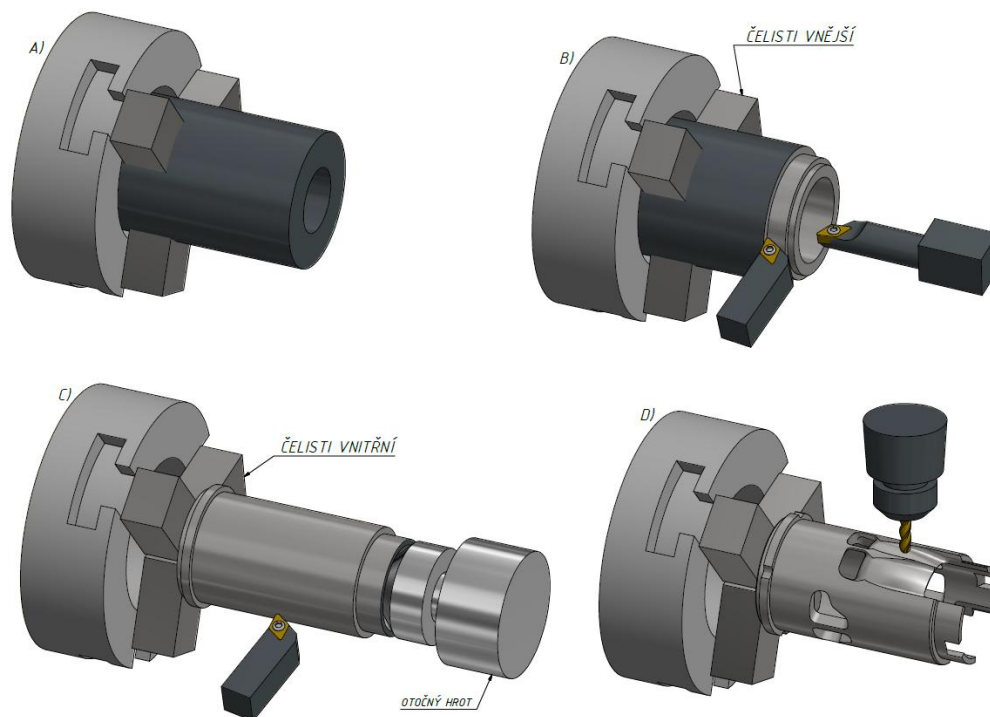


Obr. 43 Schéma natočení vložky RS varianty



## 4.2. Výrobní postup 5K varianty

Následující vysvětlení se vztahuje k obr. 44. V části A obr. 44 je vyobrazen polotovar upnutý v měkkých vnějších čelistech. V části B se soustruží průchozí otvor a přední osazení. Po otočení přesoustruženým osazením k vřetenu dojde k upnutí do měkkých čelistí za otvor a doražení otočným hrotem o čelo čelistí, viz část C. Otočný hrot zůstává jako opora při soustružení vnějšího průměru 50 mm, v této fázi je opření hrotem nezbytné, protože je zde velký nárok na kvalitu válcového povrchu stran jeho drsnosti, geometrické i rozměrové tolerance. Nároky mají své opodstatnění, protože se tímto povrchem převádí teplo do hliníkového obalu. Přesah vložky vůči hliníku bude 5 až 7 setin milimetru, menší přesah způsobí malý tlak na styčné válcové ploše a špatný přestup tepla s následkem přehřátí motoru. Velký přesah naopak může způsobit potíže při lisování. Posledním krokem při výrobě je frézování, kterému bude věnována samostatná kapitola.

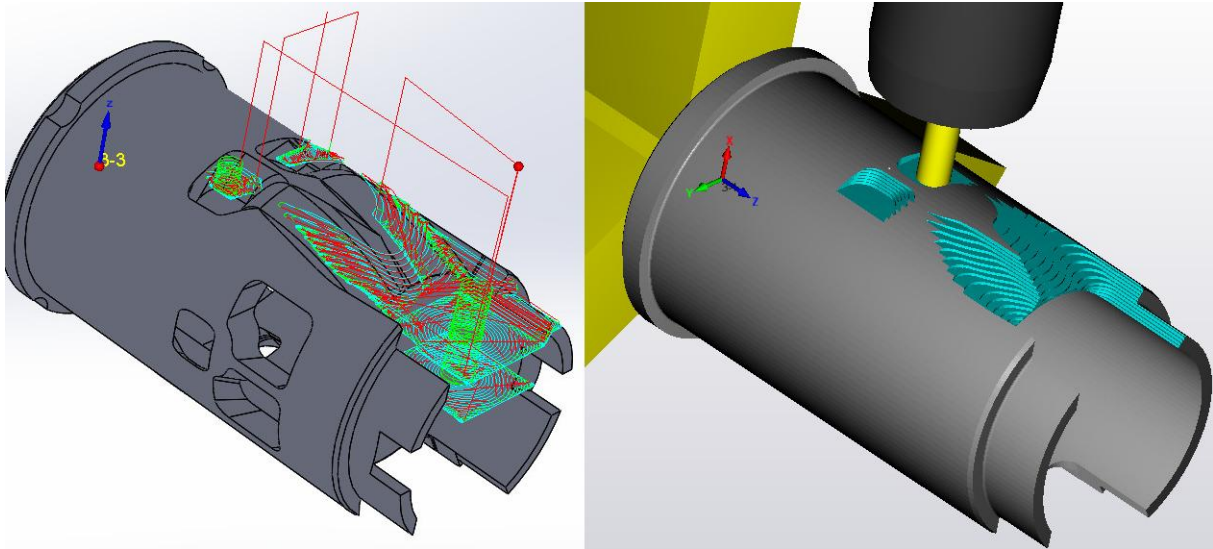


Obr. 44 Rozpoložení obrobku, upínačů a nástrojů v jednotlivých krocích

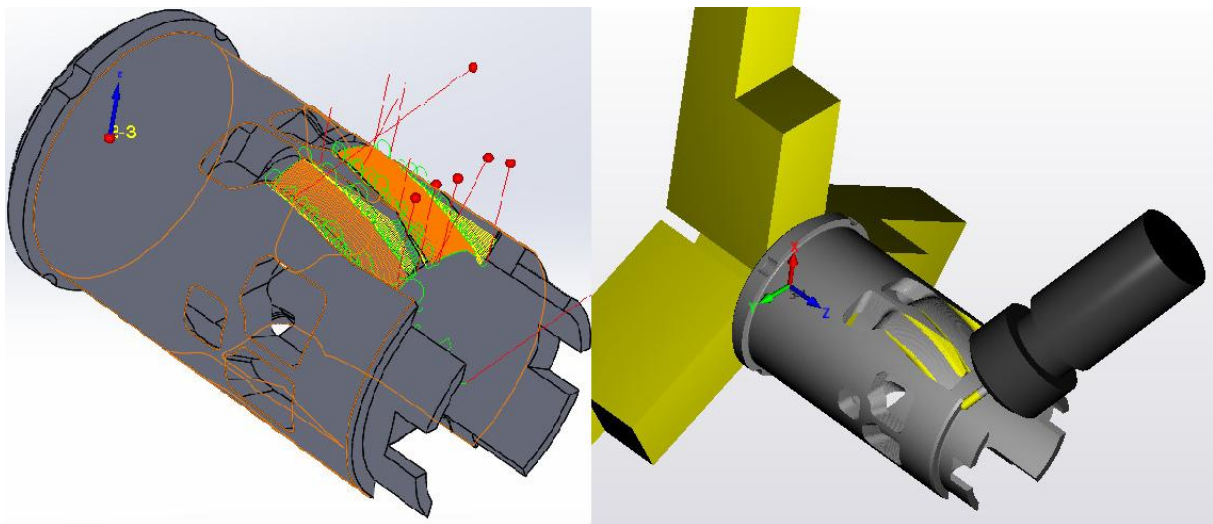
Vnější průměry byly soustruženy vnějšími rohovými noži. Vzhledem k nárokům na drsnost povrchu vnější plochy pro převod tepla bylo použito dvou nástrojů, tj. pro hrubování a dokončování. Vnitřní plocha nemá nikterak velké nároky na drsnost, neboť ještě bude obráběna po slisování při výbrusu, proto pro její obrobení stačil jeden nástroj. Všechny nástroje mají vyměnitelné břitové destičky ze slinutého karbidu.

### 4.3. Frézování

Ke tvorbě programu pro frézování bylo použito softwaru SolidCAM. Software přizpůsobuje záběrové podmínky vzhledem k momentálnímu postavení frézy vůči obrobku, tzn., že reaguje např. na zvýšení úhlu opásání apod. Celé frézování je rozděleno na dvě hlavní části, na hrubování, kde byly použity drážkovací frézy a na dokončování, kde byly použity frézy kulové. Jednalo se o monolitní frézy ze slinutého karbidu, které byly upnuté v kleštinovém upínači. Strojní čas frézování u 5K varianty byl 70 minut, u varianty RS pak 45 minut.



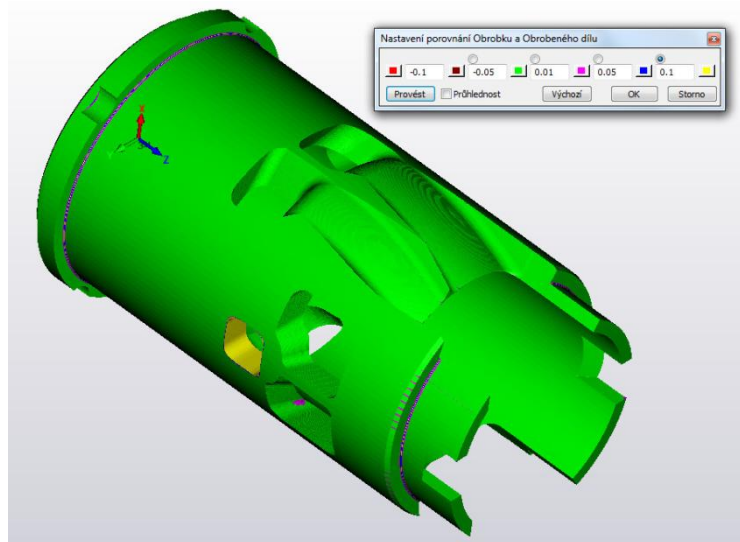
Obr. 45 Dráhy a simulace drážkovací frézy při hrubování



Obr. 46 Dráhy a simulace kulové frézy při dokončování

#### 4.4. Hotový obrobek

Kontrolou vybraných rozměrů obrobku s navrženým modelem lze prohlásit, že i přes relativně velké vyložení fréz je přesnost více než dostačující. U frézovaných rozměrů jsou tolerance do 0,05 mm. Za takovou přesností stojí dobré záběrové podmínky a vcelku dobrá obrobitelnost litiny. Očekávanou přesnost ověřuje i možnost verifikace v podobě zbarvení jednotlivých míst, která je jednou z mnoha funkcí softwaru SolidCAM.



Obr. 47 Dráhy a simulace kulové frézy při dokončování



Obr. 48 Porovnání hotových vložek s modely

#### 4.5. Slisování

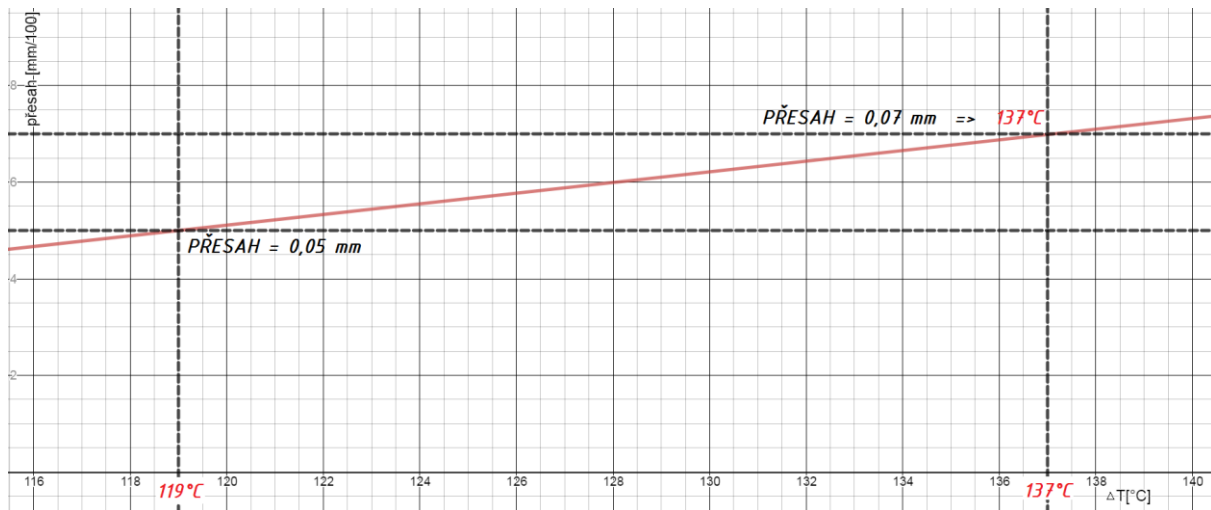
Součástí výroby závodního válce je i nalisování vložky do litinového obalu. Aby se využilo výrobní přesnosti obou součástí, je zapotřebí vložku v obalu přesně natočit. Natočení probíhá v ohřátém hliníkovém obalu, aby se zaručila určitá vůle, která zajistí možnost natáčení po pár sekund, než vůle vyrovnáním teplot vymizí. Pro určení teplotního rozdílu bylo využito vztahu:

$$\Delta T = \frac{\Delta d_{\max} + v}{\alpha \cdot d}$$

kde:

- $\Delta T$  - teplotní rozdíl obou součástí [ $^{\circ}\text{C}$ ]
- $\Delta d_{\max}$  - maximální přesah [mm] = 0,07 mm
- $\alpha$  - koeficient teplotní roztažnosti [ $\text{K}^{-1}$ ] =  $24 \cdot 10^{-6}$  (hliník)
- $d$  - vnější průměr vložky [mm] = 46 a 50 mm
- $v$  - přídavek tolerance [mm] =  $(0,006 \text{ až } 0,012) \cdot \sqrt{d}$

Inverzní funkcí byla vytvořena závislost přesahu na teplotním rozdílu, z této lineární závislosti je možné vyčíst minimální teplotní rozdíl  $137^{\circ}\text{C}$  pro maximální přesah 0,07 mm. Diagram níže počítá s případem, který potřebuje nejvyšší teplotu, tj. průměr vložky 46 mm a zároveň násobkem přídavku tolerance  $0,012 \text{ mm}^{1/2}$ .



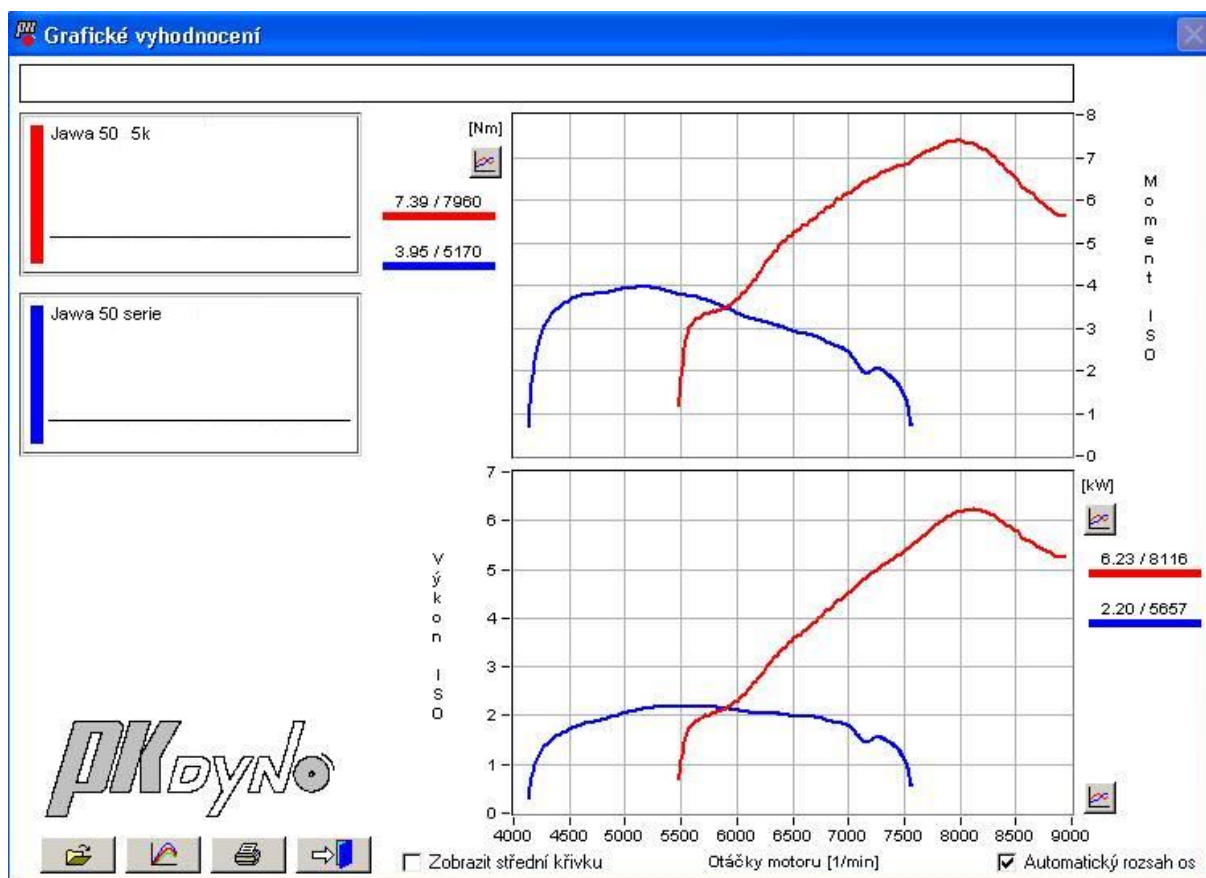
Obr. 49 Diagram závislosti přesahu na teplotním rozdílu

Ohřevem hliníkového obalu na  $150^{\circ}\text{C}$  a podchlazením vložky na  $-18^{\circ}\text{C}$  je dosaženo dostatečného tepelného rozdílu, který zaručí přibližně pětisekundovou prodlevu pro správné vyrovnání. Požadovaného přesahu se u nově vyráběné vložky dosáhlo vysoustružením na požadovaný průměr. U RS varianty se přesahy vylisovaných válců pohybovaly v rozsahu 3 až 5 setin mm, důvodem snížení přesahu je pravděpodobně creepové chování hliníkového obalu. Protože povrch hliníkového obalu se při vylisování často poškodí, bylo zapotřebí obal prolapovat a zároveň vložky pomědit takovou vrstvou, aby se dosáhlo požadovaného přesahu.

## 5 Výběr varianty

Účelem této kapitoly je porovnání obou variant zejména z hlediska výsledných výkonových charakteristik potažmo k pracnosti a nákladnosti všech úkonů potřebných k dosažení předpokládaných výsledků. Měření výkonových charakteristik proběhlo na válcovém dynamometru. Motor byl podrobován mnoha zkouškami, které mají následující průběh. Motocykl je přivázán k rámové konstrukci, jejíž součástí je rotační závaží, které je roztáčeno přímým převodem přes pneumatiku zadního kola. Roztáčení probíhá od minimálních otáček, od kterých je motor schopen ještě pružně reagovat na přidání plynu, do maximálních otáček. Závaží je snímáno jednoduchým čidlem, které při každé otáčce závaží zapíše přesný čas. Numerickými derivacemi a ostatními výpočty se určí průběh točivého momentu a výkonu v závislosti na otáčkách klikového hřídele. Pro ještě účinnější porovnání dochází k přepočtení na hnací síly v závislosti na rychlosti motocyklu, neboť právě to určuje výsledné zrychlení motocyklu a zároveň vnáší informaci o převodech.

Vyřčení toho, zda-li je vhodnější ta či ona varianta, nemusí být v každém případě na místě, protože křivky momentu a výkonu porovnávaných variant mohou být tak blízko u sebe a zároveň každá z nich může nabývat vyšších hodnot v jiných otáčkách, že výsledek posoudí až praktická zkouška na závodním okruhu. Zároveň se může stát, že každá varianta bude mít výhodu na jiném okruhu, protože rozsah otáček, ve kterých se motor pohybuje, se s každým úsekem okruhu mění.

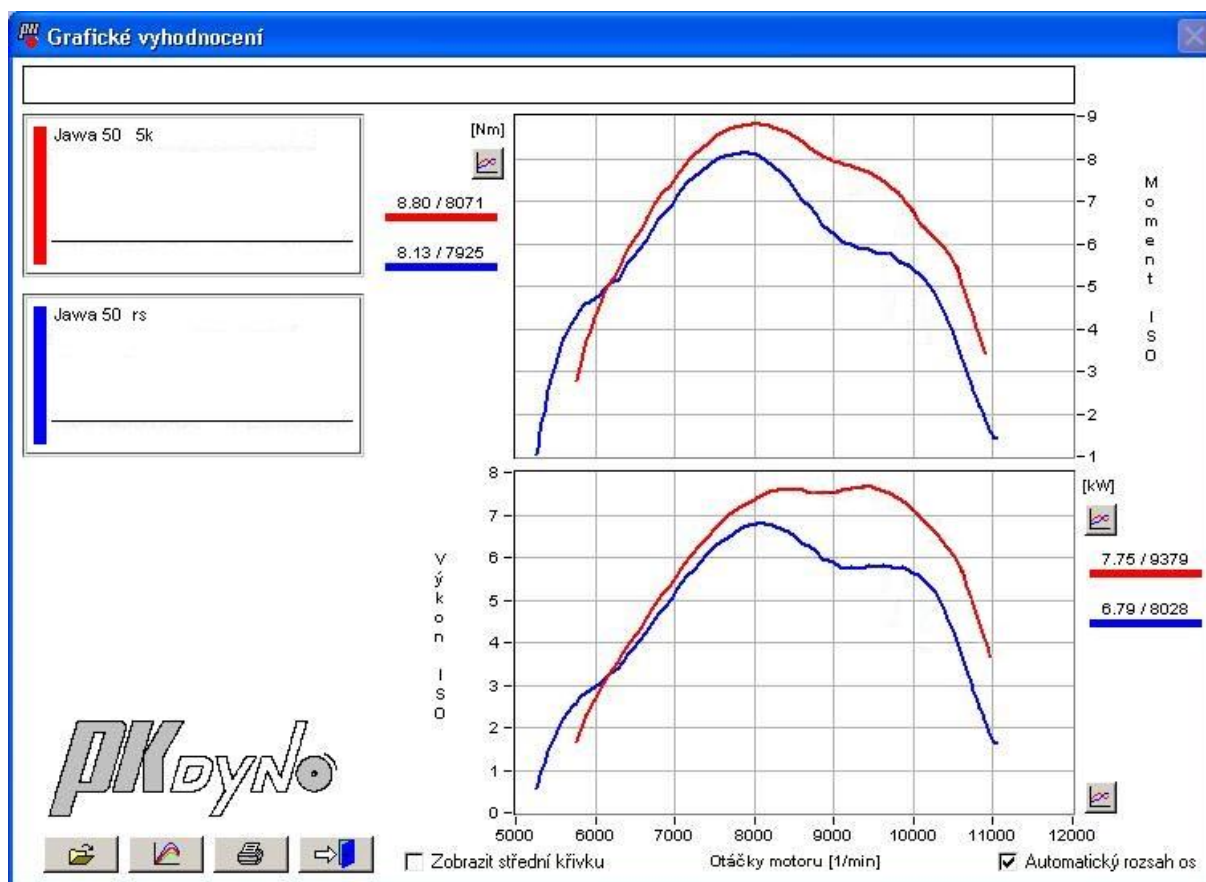


Obr. 50 Otáčkové charakteristiky sériového a 5K varianty bez nalazení

Obrázek č. 50 s dvojicí diagramů zachycuje porovnání křivek točivého momentu a výkonu sériového motocyklu (modrá) a 5K varianty bez přesnějšího nalazení (červená). Ačkoli výrobcem udávaná hodnota výkonu je 2,6 kW při 6500 ot/min, zde naměřená hodnota je 2,2 kW při 5657 ot/min je odlišná. Odlišnost hodnoty výkonu je způsobená ztrátami řetězového převodu, uložení závaží a hlavně třecího převodu mezi pneumatikou a závažím. Tato ztráta je přibližně 15%, po přičtení ztrát bude hodnota výkonu souhlasit. Odlišnost otáček max. výkonu není příliš směrodatná, protože křivka výkonu je v tomto místě celkem plochá.

Už při prvním měření je vidět, jak obrovský vliv na výkon má upravený válec. Postupným dolazováním zbylých detailů je možné výkonové charakteristiky ještě zvýšit, a to zejména výfukovým rezonátorem, jenž může ovlivnit výkon až o 30 %. Využít maximální možný potenciál obou variant by však vyžadovalo obrovské množství času na válcovém dynamometru, což bývá i finančně nákladné a je to i zároveň nad rámec této práce. Zde proběhlo nalazení v rámci možností, které ještě poskytuje možnost k dalšímu zlepšení. I tak je původní hodnota výkonu překročena více než trojnásobně. Jednotlivé kroky lazení zde nebudou rozepisovány, neboť tyto činnosti by zasloužily samostatnou bakalářskou práci.

Při výběru vítězí 5K varianta. Ačkoli by se rozdíl ve výkonových charakteristikách mohl na první pohled zdát ne až tak velký, není tomu pravdou. Tento fakt potvrzují rozdíly v časech na kolo, které se pohybují v řádu setin vteřiny. Bývá zvykem, že ve vývoji závodních komponent nejde výsledek práce lineárně s úsilím. Je to dáno především tím, že výkon každého zážehového motoru naráží na určitá konečná omezení, a to jak z termodynamického, tak i z konstrukčního hlediska. Tudíž se ve vývoji motorů vynakládá větší a větší úsilí a výsledek se asymptoticky blíží určité mezi, která není dosud nikomu přesně známa.

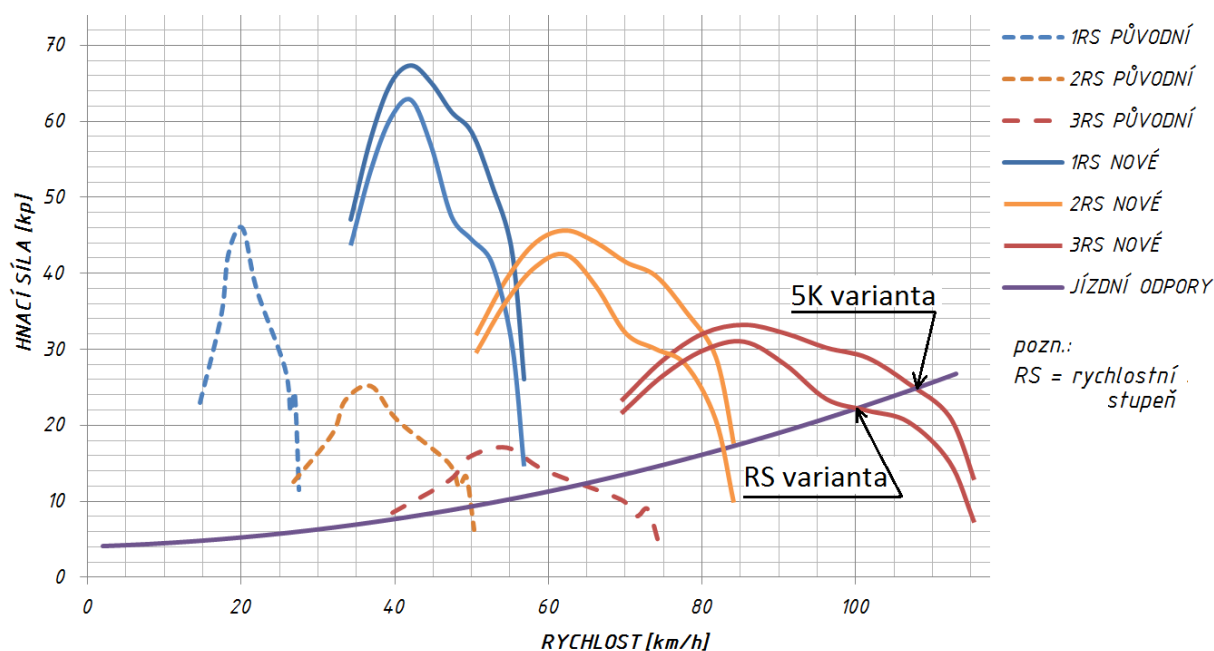


Obr. 51 Otáčkové charakteristiky 5K a RS varianty po nalazení

## 6 Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout a vyrobit vložku válce maloobjemového motocyklu tak, aby došlo ke zvýšení výkonových charakteristik a bylo možné bojovat o čelní pozice v závodech mistrovství České republiky v kategorii Jawa 50RS a v terénních závodech Šumavského poháru. Byly navrženy dvě varianty, a to dvoukanálová (RS) a pětikanálová (5K), přičemž RS varianta vycházela ze sériové vložky i sériového hliníkového obalu. Oproti tomu pro variantu 5K byl výchozím polotvarem tyčový materiál a zavařený obal válce. Obě tyto varianty jsou tvořeny ze značně složitých tvarových ploch, kvůli čemuž musely být použity pěti-osé stroje. Pro správné napolohování vložky RS byla použita středící tyčka, která zaručovala ztotožnění natočení vložky vůči natočení souřadnicového systému stroje. Z důvodu nutnosti obrobení hlubokých a špatně přístupných kapes byly použity prodloužené nástroje v kombinaci s prodlouženými a zúženými upínači. Největším problémem při obrábění byla nutnost velkého vyložení nástrojů, čímž docházelo u tenkých nástrojů ke značným vibracím. Z tohoto důvodu musely být použity menší řezné rychlosti a posuvy. I přes komplikovanější napolohování při upínání RS varianty z důvodu návaznosti na původní kanály byla výroba 5K varianty podstatně náročnější, protože strojní čas včetně upnutí činil přibližně 70 minut, u RS pak přibližně 45 minut. Výrobu u 5K rovněž prodražuje nutnost vyvaření hliníkového obalu.

Zkoušky na válcovém dynamometru dokázaly, že bylo dosaženo ještě lepších výsledků, než bylo předpokládáno. Výkon se ztrátami (tzv. na zadním kole) byl zvýšen z originální hodnoty 2,2 kW na 7,75 kW pro 5K variantu, což činí přibližně 3,5 násobek původní hodnoty. Výkon u varianty RS je v rozsahu provozních otáček v průměru nižší přibližně o 1 kW. Tento rozdíl přísluší rozdílu pracnosti a nákladnosti mezi variantami. Veškeré závěry stran porovnání variant i celkového výsledku poskytuje diagram hnacích sil níže. Průsečík hnací síly na nejvyšší rychlostní stupeň s křivkou jízdních odporů udává maximální rychlost, ta je pro sériový motocykl 65 km/h, pro 5K variantu 108 km/h a pro RS pak 100 km/h. Je očekáváno průběžné dosažení ještě lepších výsledků mnoha hodinami zkoušek a laděním ostatních komponent, což je nad rámec této práce.



Obr. 52 Diagram hnacích sil

## Použité zdroje

- [1] POVÁŽSKÉ STROJÁRNY N. P. *Dílenská příručka Jawa 50 typ 20,23A*. Povážská Bystrica.
- [2] STEJSKAL, Miroslav. *Zvýšení výkonových parametrů zážehového jednoválcového dvoudobého motoru*. Diplomová práce. VUTBR. Brno: 2012
- [3] HUSÁK, Pavel. *Upravujeme motocykl na závod*, Praha, SNTL, 1972. 163 s.
- [4] JANYŠ, Bohumil, GLANC, František. *Dílenské tabulky*, Praha: SNTL, 1972
- [5] OPLUŠTIL, Vít. *Dvoudobé motory závodních motocyklů kategorie GP*. Brno: 2010. Dostupné z: [http://www.vutbr.cz/studium/zaverecne-prace?zp\\_id=30424](http://www.vutbr.cz/studium/zaverecne-prace?zp_id=30424). Bak. práce. VUTBR
- [6] FACHINELLI, F.L. *Le préparation des moteurs 2 temps* [cit. 2017-3-15]. Dostupné z: <http://ti1ca.com/81w5oebt-g-prepa-2-temps-La-preparation-des-moteurs-2-temps.PDF.html>
- [7] *ALUSIL-Zylinderkurbelgehäuse* [online]. Dostupné z: [http://www.kspg.com/fileadmin/media/kspg/Broschueren/Produktbroschueren/KS\\_ATAG/ZKG\\_Niederdruckguss/at\\_porsche\\_v8\\_d.pdf](http://www.kspg.com/fileadmin/media/kspg/Broschueren/Produktbroschueren/KS_ATAG/ZKG_Niederdruckguss/at_porsche_v8_d.pdf)
- [8] *Der Zweitakt-Motor* [online]. Dostupné z: [http://www.sittingmax.de/html/der\\_zweitakt-motor.html](http://www.sittingmax.de/html/der_zweitakt-motor.html)
- [9] *Nikasil-dispersní pokovení* [online]. [cit. 2016-12-10]. Dostupné z: <http://kart-pneu.cz/nikasil/>
- [10] *Technisches Werkstoffblatt für Gusseisen mit Lamellengraphit* [online]. Dostupné z: [http://s1ca2075a7e227196.jimcontent.com/download/version/1464589949/module/10564767697/name/TWB-GGL-DIN\\_EN1561.pdf](http://s1ca2075a7e227196.jimcontent.com/download/version/1464589949/module/10564767697/name/TWB-GGL-DIN_EN1561.pdf)
- [11] BLAIR, Gordon P. *Design and simulation of two-stroke engines*, Society of Automotive Engineers. 1996. 623 s. ISBN 1-56091-685-0
- [12] BELL, A. *Two-stroke performance tuning*. 2nd ed. Newbury Park, Calif., USA: Haynes North America, 1999, 271 p. ISBN 18-596-0619-9.
- [13] Dobový plakát [online]. [cit. 2016-12-2]. Dostupné z: <http://jawa50-ujezd.wz.cz/index.php?o=m22>
- [14] 2T cyklus [online]. [cit. 2016-12-20]. Dostupné z: [http://www.topteach.ch/ateus/training/Nt\\_tech/motoren/motoren-Dateien/image016.gif](http://www.topteach.ch/ateus/training/Nt_tech/motoren/motoren-Dateien/image016.gif)
- [15] Kinematické schéma klikového mechanismu [online]. [cit. 2017-1-23]. Dostupné z: <http://www.kme.zcu.cz/kmet/mech/dynamika-soustav/zdvihaci-zarizeni-s-klikovym-mechanismem.php>
- [16] Časovací kotouč [online]. [cit. 2017-1-23]. Dostupné z: <http://www.trabantrally.cz/montaz-motoru/>
- [17] Stage 6 portmap [online]. [cit. 2017-2-11]. Dostupné z: <http://49ccscoot.proboards.com/thread/176/undefined?page=3>
- [18] DAŇA, Milan. *Technologie výroby a návrh přepouštěcích kanálů ve válci maloobjemového motocyklu*. Bakalářská práce. ZČU. Plzeň: 2013