



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

## DVOUDOBÝ MOTOR

TWO-STROKE ENGINE

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Matej Štrba

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Zdeněk Kaplan, CSc.

BRNO 2020

# Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	<b>Matej Štrba</b>
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce:	<b>doc. Ing. Zdeněk Kaplan, CSc.</b>
Akademický rok:	2019/20

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

## Dvoudobý motor

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Obsahem závěrečné bakalářské práce je komplexní studium problematiky využití dvoudobého motoru, jeho předností, nedostatků a možností zvyšování výkonových parametrů.

### **Cíle bakalářské práce:**

Cílem závěrečné bakalářské práce je vytvoření uceleného souboru poznatků o dvoudobých motorech, jejich přednostech, nedostacích a možnostech zvyšování výkonových parametrů. Práce bude obsahovat vlastní návrhy pro zvýšení výkonu dvoudobého motoru automobilu Trabant.

### **Seznam doporučené literatury:**

BELL, A. G. Two-stroke performance tuning, Haynes Publishing, 272 s. ISBN 1- 85960-619-3.

SENN, H. Two-Stroke Engines, Goodheart-Willcox Company, 2017, 256 s., ISBN 9781631268625 / 1631268627.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

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

## **ABSTRAKT**

Cieľom práce je prehľad a popis konštrukcie, vývoja dvojdobého motora, jeho modernizácie, možností úprav a tým aj zmena výkonových parametrov a následná aplikácia niektorých úprav na motore osobného automobilu značky Trabant.

## **KLÚČOVÉ SLOVÁ**

Dvojdobý motor, výkon, Trabant

## **ABSTRACT**

The aim of this thesis is description of a design, development of a two-stroke engine, its modernization, possibilities of the modifications and thus the change of the performance parameters and subsequent applications of some modification on the engine of passenger car Trabant.

## **KEYWORDS**

Two-stroke engine, power, Trabant

## BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

Štrba, M. *Dvoudobý motor*. Brno, 2020. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 51 s. Vedoucí diplomové práce Zdeněk Kaplan.

## ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že táto práca je mojim pôvodným dielom, spracoval som ju samostatne pod vedením doc. Ing. Zdeněka Kaplana CSc. a s použitím literatúry uvedenej v zozname.

V Brne dňa 26. júna 2020

.....

Matej Štrba

## POĎAKOVANIE

Ďakujem vedúcemu mojej práce doc. Ing. Zdeněkovi Kaplanovi CSc. za skvelý dohľad, odbornú pomoc a poradenstvo. Ďalej chcem poďakovať mojej rodine za všetku podporu, ktorá mi dodáva silu počas môjho studia. Rovnako sa chcem poďakovať mojim kolegom a priateľom z fakulty ale aj mimo nej.

## OBSAH

Úvod.....	10
1 Úvod do dvojdobých motorov .....	11
1.1 Základná činnosť dvojdobého motora .....	12
2 Konštrukcia dvojdobého motora.....	15
2.1 Valec a piest .....	15
2.1.1 Druhy valcov .....	15
2.2 Konštrukcia piestu .....	17
2.2.1 Piestne krúžky .....	18
2.3 Hlava valca .....	19
2.4 Spôsoby vyplachovania valca.....	22
2.4.1 Priečne vyplachovanie .....	22
2.4.2 Súprúdové vyplachovanie .....	22
2.4.3 Vratné vyplachovanie .....	23
2.5 Rozvod motora .....	25
2.5.1 Rozvod piestom .....	26
2.5.2 Rozvod rotačným šúpatkom.....	26
2.5.3 Jazyčkový ventil .....	27
2.6 Výfukový systém.....	27
2.7 Výhody dvojdobého motora v porovnaní so štvordobým.....	28
2.8 Nevýhody dvojdobého motora v porovnaní so štvordobým .....	29
3 Zvýšenie výkonu dvojdobého motora .....	30
3.1 Zmena časovania úpravou kanálov .....	31
3.1.1 Výfukový kanál .....	31
3.1.2 Prepúšťacie kanály.....	32
3.1.3 Sací kanál .....	32
3.1.4 Ostatné úpravy.....	33
4 Úpravy motora TRABANT .....	34
4.1 Prípravy pred úpravou.....	34
4.1.1 Výber vhodných komponentov na úpravu .....	34
4.2 Zníženie hláv valcov .....	35
4.3 Úprava kľukovej skrine.....	35
4.3.1 Úprava sacieho kanálu .....	35
4.3.2 Vyplnenie prázdnych miest.....	36
4.4 Úprava valcov.....	37
4.5 Karburátor a zapalovanie .....	40



---

4.5.1	Karburátor .....	40
4.5.2	Zapaľovanie.....	43
4.6	Výfukový systém.....	44
4.7	Časovanie motora pred a po úprave.....	45
4.8	Nečakané zlyhanie .....	46
	Záver .....	48
	Zoznam použitých skratiek a symbolov.....	51
	Zoznam príloh.....	52

## ÚVOD

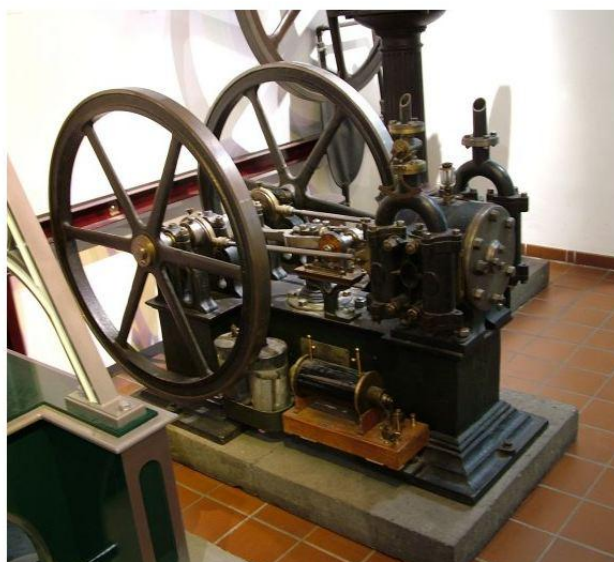
Táto práca obsahuje prehľad vývoja dvojdobého motora od skorých začiatkov až po moderné dvojdobé motory. Poukazuje na princípy práce a deje s nimi spojené, na ich hlavné výhody a prednosti oproti štvordobým motorom, avšak aj na ich hlavné a podstatné nevýhody, ktoré sa pripísali pod to, prečo dvojdobé motory v dnešnej dobe takmer „vymreli“. Pokusov o modernizáciu nebolo málo, no aj tak to nestačilo k tomu, aby sa dvojdobé motory v dnešnej dobe používali vo väčšej miere. V tejto práci sú popísané aj úpravy jednotlivých komponentov motora s cieľom zvýšenia jeho výkonu a ich následná aplikácia na dvojvalcovom dvojdobom motore značky Trabant.

Aj keď dvojdobé motory zožali najväčší úspech v druhej polovici 20. storočia, ich začiatky nevyzerali veľmi sľubne. Ich konštruktéri museli riešiť mnoho problémov s cieľom zvýšenia ich účinnosti, teda zvýšenia výkonu a životnosti a zníženia spotreby. Takýmto výsledkom, ktorý znamenal asi najvýraznejší pokrok v oblasti dvojdobých motorov bol princíp vratného vyplachovania zmesi z valca, pri ktorom sa motoru do značnej miery zvýšila účinnosť. Nasledujú ho zmeny v konštrukcii výfukového systému, príprave zmesi, zapalovania, atď.

Trabant bol malý osobný automobil východonemeckej produkcie. Poháňal ho najprv dvojvalcový motor o objeme  $499\text{cm}^3$  a výkone  $12,5\text{kW}$ , no neskôr bol objem motora zvýšený na  $594\text{cm}^3$  a výkon na  $19\text{kW}$ . V dobe kedy bolo auto vyrábané, bol motor považovaný za moderný a celkom aj úsporný, no postupom času a bez ďalšieho vývoja veľmi rýchlo zostarol. V dnešnej dobe malých áut veľkosti Trabanta sa výkon ich agregátov pohybuje od  $40\text{kW}$  a vyššie. Teda na dnešnú dobu je výkon  $19\text{kW}$  až smiešne malý. No motor ako taký ponúka veľké množstvo možností zvýšenia výkonu, ale bohužiaľ aj spotreby. Tieto motory boli v minulosti ale aj súčasnosti práve vďaka tejto vlastnosti medzi pretekárskymi nadšencami veľmi obľúbené. Niekoľko zásadných úprav a motor dosahoval dvojnásobok výrobcom udávaného výkonu. Popísané úpravy obsiahnuté v tejto práci na danom motore nebudú až tak rozsiahle, nakoľko s autom nemienim pretekať, ale zvýšenie výkonu beriem skôr ako výkonovú rezervu.

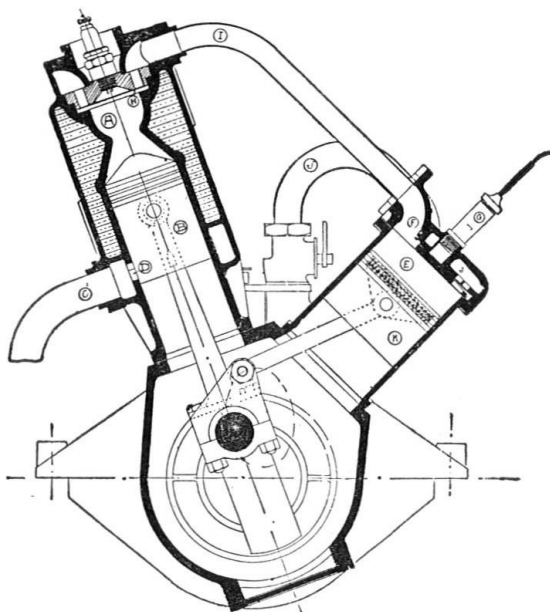
## 1 ÚVOD DO DVOJDOBÝCH MOTOROV

Začiatky dvojdobých motorov siahajú až do druhej polovice 19. storočia. Zostrojil ho belgický vynálezca Jean Joseph Etienne Lenoir v roku 1860. Jednalo sa o dvojčinný dvojdobý motor s šúpatkovým rozvodom spaľujúci svietiplyn, ktorý bol zapáľovaný elektrickou iskrou. Jeho motory dosahovali výkon 1-9 konských síl avšak s nízkou účinnosťou 3-4%.



*Obr. 1 Lenoirov motor z roku 1861, exponát z Deutsche Museum, Mníchov [1]*

Za „otca“ dvojdobého motora sa však považuje Škót Sir Dugald Clerk, ktorý svoj motor skonštruoval na konci 19. storočia. Motor ako celok má dva valce- jeden valec je motor a druhý slúži ako kompresor, zvierajúce takmer pravý uhol a sú poháňané jedným kľukovým hriadeľom. Pri pohybu piestu motora do DÚ nasáva kompresor zmes vzduchu a plynu. V motore piest odкрýva výfukový kanál čím umožňuje vyprázdnenie spálenej zmesi a vyrovnanie tlaku vo valci. Medzitým začína kompresor stáčať pracovnú zmes a tlačí ju cez spätný ventil do valca motora, kde nastáva kompresia a následne pracovný cyklus.



Obr. 2 Clerkov motor [2]

Dvojdobé motory sa začali čoraz viac uplatňovať v období po 2. svetovej vojne a to hlavne vďaka nemeckej značke DKW. Najväčšie uplatnenie dosiahol v motocykloch a neskôr aj menších automobiloch. V bývalom Československu začal vývoj dvojdobého motora v roku 1924. Jednalo sa o štvorvalcový, vodou chladený motor použitý v malom osobnom automobile DISK. Po počiatočných neúspechoch prišiel v 30. rokoch automobil AERO 30 s dvojvalcovým, vodou chladeným motorom o zdvihovom objeme  $998,7\text{cm}^3$ , ktorý bol konštrukčne viac podarený ako jeho predchodca.

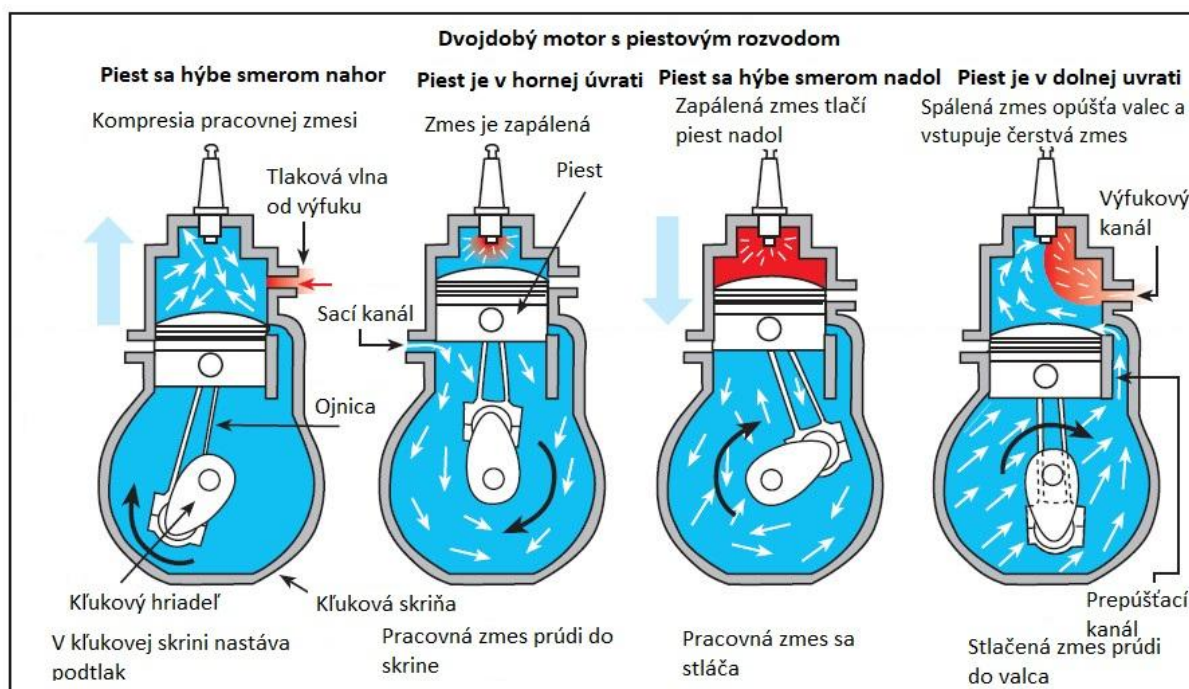
Dvojdobý motor začal byť obľúbený najmä u výrobcov motocyklov práve vďaka jeho jednoduchej konštrukcii, lacnej výrobe a nenáročnej obsluhu. Používali ho výrobcovia ako napr. DKW, Villiers, JAWA, atď.

## 1.1 ZÁKLADNÁ ČINNOSŤ DVOJDOBÉHO MOTORA

Dvojdobý motor narozdiel od štvordobého motora vykoná všetky štyri doby behom jednej otáčky kľukového hriadeľa, to znamená, že pri jednom zdvihu piestu prebiehajú dve doby súčasne.

Pri pohybe piestu nahor smerom z dolnej úvrate, vzniká v priestore pod piestom podtlak. Ako náhle spodná hrana piestu otvorí sací kanál, začne do kľukovej skrine prúdiť zmes vzduchu a paliva (pracovná zmes). Tá prúdi po celú dobu pohybu piestu do hornej úvrate a ďalej zotrvačnosťou aj na počiatku zdvihu piestu smerom do dolnej úvrate. Piest uzatvára sací kanál a nastáva stláčanie nasatej zmesi v kľukovom priestore. Horná hrana piestu začne odkrývať prepúšťacie kanály a do valca začne prúdiť zmes z kľukovej skrine. Piest ďalej postupuje smerom nahor, uzatvára najskôr prepúšťacie kanály a následne aj výfukový kanál. Po uzavrení všetkých kanálov nastáva vo valci kompresia. Tesne pred hornou úvratou preskočí medzi elektródami sviečky iskra, ktorá zažehne stlačenú zmes. Tá začne postupne

prehorievať, pričom sa uvoľňuje značné množstvo tepla a vzniknuté plyny, ktoré nemôžu mnohonásobne zväčšovať svoj objem tlačia piest nadol. Piest otvára výfukový kanál a nastáva prudký únik spálených plynov z motora cez výfuk do ovzdušia. Následne sa odkyjú aj prepúšťacie kanály, ktoré pomáhajú z valca vypláchnuť spálené plyny do výfuku. Tu sa objavuje jeden z hlavných nedostatkov dvojdobých motorov, nie je možné zabrániť uniknutiu značnej časti čerstvej pracovnej zmesi do výfuku. O tom budem bližšie informovať v inej kapitole. Po uzavrení všetkých kanálov sa celý dej opakuje mnohokrát za sekundu.



Obr. 3 Činnosť dvojdobého motora [3]



## 2 KONŠTRUKCIA DVOJDOBÉHO MOTORA

### 2.1 VALEC A PIEST

U dvojdobého motora tvoria valec s piestom akési srdce celého motora. Vo valci prebieha väčšina dejov, obsahuje kanály, ktoré sú neodmysliteľnou súčasťou motora. Piest okrem stláčania zmesi zároveň pôsobí aj ako posuvný ventil, ktorý otvára a zatvára kanály vo valci.

Medzi hlavné požiadavky valca patrí jeho geometrický presný valcový otvor, ktorého os je presne kolmá na dosadiacu plochu valca na skriňu motora. Jeho pracovná plocha sa nesmie za prevádzky motora žiadnym spôsobom deformovať. Jediná prípustná deformácia je jeho rovnomerné tepelné rozpínanie vplyvom uvoľneného tepla spaľovaním.

Pracovná plocha valca by mala byť z materiálu, ktorý je odolný voči opotrebeniu piestom a piestnými krúžkami. Mala by zaisťovať vysokú mechanickú účinnosť a spolu s vhodnou kombináciou materiálu piestu a piestnych krúžkov aj nízky súčiniteľ trenia.

Pri konštrukcii valca sa dbá aj na jeho chladenie, ktoré musí zaisťovať z valca spoľahlivý odvod tepla. V opačnom prípade by došlo k zadreniu motora. Valce chladené vzduchom sú najrozšírenejšie. Ich výroba je lacná, valce sa vyznačujú nízkou hmotnosťou (záleží na použítom materiáli valca). Vodou chladené valce majú zaistené rovnomerné ochladzovania všetkých stien valca a to je ich výhoda oproti valcom chladeným vzduchom.

#### 2.1.1 DRUHY VALCOV

Liatinový valec odliaty z šedej liatiny je z hľadiska vývoja najstarší. Jeho konštrukcia a následná výroba je celkom jednoduchá a lacná. Šedá liatina je materiál, ktorý má dobrú tepelnú stálosť, má dobré trecie vlastnosti v kombinácii s piestom z hliníkových zliatin a liatinovými alebo pochromovanými piestnými krúžkami. Životnosť jeho vývrtu je možné predĺžiť vhodnými ušľachtilými prísadami. Jeho ďalšie výhody spočívajú v jednoduchosti zvýšiť výkon motora upravením kanálov či už pri samotnom vývoji valca alebo amatérskymi úpravami. Pri výraznom opotrebovaní valca je možné veľmi ľahko vybrúsiť jeho plochu o rozmer spravidla o 0,25mm a namontovať piest s krúžkami daného rozmeru výbrusu. Oprava valca nie je zložitá ani pri zadretí motora. Podľa rozsahu poškodenia sa v najhoršom prípade volí vyššie spomenutý výbrus, no obvyčajne stačí odstrániť všetky nanesené časti hliníka z piestu a poškodené miesta zaleštiť.

Základnou nevýhodou liatinového valca je jeho nízka tepelná vodivosť. Pri vysokej záťaži motora je viac-menej nemožné zaisťovať dostatočný odvod tepla bez ohľadu na veľkosť rebier. Nízka tepelná vodivosť spôsobuje, že okraje rebier zostávajú chladné no funkčné časti valca sú prehriate. Druhou nevýhodou je jeho vysoká hmotnosť v porovnaní s valcami z ľahkých zliatin.

Potreba znižovania hmotnosti motora a zdokonalenia jeho chladenia viedla konštruktérov k valcom z ľahkých zliatin.

Valec z hliníkovej zliatiny a zalisovaná vložka valca je konštrukčne najstaršou snahou zlepšiť uvedené parametre. Ich výroba, až do ich konečnej montáže, prebieha nezávisle na sebe.

Odliatok valca je zhotovený zo zlievárensky výhodného materiálu a dá sa mechanicky obrábať. Vložka valca sa vyrába z akostnej liatiny, ocele na odliatky alebo nerezistu, tj. materiálom s veľkým percentom niklu a chrómu. Technologicky najvýhodnejšie sú vložky zhotovené metódou presného odlievania, kde tvary kanálov vyžadujú jedine kontrolu alebo minimálne obrábanie. Otvor vložky môže byť hrubo sústružený s prídavkom asi 0,1 mm na konečné obrobenie po zalisovaní vložky do valca.[4]

Ich výroba, až do ich konečnej montáže, prebieha nezávisle na sebe, Výhodou hliníkového valca je kvalitnejší povrch kanálov po odliatí a následná možnosť ešte zlepšiť povrch kanálov obrábaním. Medzi ďalšie výhody patrí aj spätná demontáž vložky valca. Toto ocenia najmä úpravcovia motorov. Ich oprava je totožná ako u liatinových valcov s výnimkou zachovania dostatočne hrubých stien vložky aj valca, aby si lisované spojenie udržalo dostatočný presah.

Problém tohto druhu valca spočíva v jeho konštrukcii, tj. v lisovanom spojení. U motora, ktorý je v chode sa vplyvom väčšej tepelnej rozťažnosti hliníka rozťahuje viac samotný valec ako vložka a tak môže dojsť k zmenšeniu alebo aj k vynulovaniu presahu, ktorý má za následok uvoľnenie vložky.

Studená vložka sa vkladá do hliníkového valca zahriateho na teplotu asi 200°C buď v špeciálnom prípravku alebo sa lícuje podľa rysiek. Najdôležitejšie je stanovenie správneho presahu, ktorý býva v rozmedzí 0,05-0,09 mm, podľa priemeru valca. Malý presah spôsobuje uvoľňovanie, príliš veľký presah naproti tomu zhoršuje nasadenie vložky a vyvoláva nežiadúce trvalé deformácie.[4]

Problémy valcov so zalisovanou vložkou by mali odstrániť valce so zaliatou vložkou. Princíp výroby tohto druhu valca spočíva v naliatí hliníkového valca na predhriatu liatinovú vložku. Je ale potrebné dbať pri jeho výrobe na to, aby sa nevytvorila vzduchová medzera medzi vložkou a valcom. Vzduchová medzera by potom pôsobila ako tepelný izolant, plocha vložky pri ktorej sa vzduchová medzera nachádza by sa vplyvom nedostatočného chladenia prehrievala a dochádzalo by k samozápalom alebo zadretiam.

Nevýhodou je obtiažnejšia výroba a neľahké vytvorenie presných tvarov kanálov. Po výrobe je totiž takmer nemožné obrobiť kanály, musia byť teda odliate čo najpresnejšie.

Stále viac nadšencov si získavajú valce s pochrómovanou alebo pracovnou plochou alebo s vrstvou Nikasilu (niklová vrstva s kremíkom). U štvordobých motorov je táto metóda zvládnutá úspešne. U dvojdobých motorov sú ale kritické miesta práve kanály, presnejšie hrany kanálov, do ktorých narážajú piestne krúžky. Tam reálne hrozí odlúpnutie tvrdej vrstvičky, ktorá spôsobí motoru značné škody.

Pri výrobe sa najprv odleje hliníkový valec, ktorý sa následne obrobí na hotovo. Potom sa na jeho pracovnú plochu elektrolyticky nanáša vrstva chrómu, resp. Nikasilu, pričom sa musí zabrániť hromadeniu vrstvy na hranách kanálov. Poslednou fázou je tzv. honovanie valca, ktoré má za úlohu lepšie udržať olejový film na stene valca.

Z hľadiska úprav kanálov u tohto typu valca je nutné dbať na to, aby sa nástroj nedotkol plochy s nanosenou vrstvou, inak hrozí odlupovanie.

Za predpokladu presnej výroby tieto valce funkčne lepšie vyhovujú než ich predchodcovia. Vynikajú nižšou hmotnosťou a majú dokonalejší prestup tepla. Ich opravy sú však



náročnejšie, nakoľko je nutné valec vybrúsiť a znovu naniestť vrstvu chrómu, resp. Nikasilu a následne honovať. V podstate zopakovať takmer celý výrobný proces. Z finančného hľadiska, aj z hľadiska časovej náročnosti, vybavenie odbornej dielne a technologického postupu, volia motoristi výmenu valca za nový spolu s piestnou sadou. Nie je možné použiť kombináciu chrómovaného valca a chrómovaného piestneho krúžku, pretože pri trení dvoch chrómovaných plôch by zanedlho došlo k zadreniu.

## 2.2 KONŠTRUKCIA PIESTU

Základný rozmer piestu vychádza z rozmeru vrtania valca. Piest je veľmi tepelne aj mechanicky namáhaná súčiastka a preto sú naň kladené veľmi špecifické požiadavky. Predovšetkým je to jeho tvarová stálosť súčasne s jeho nízkou hmotnosťou. Spolu s piestnymi krúžkami utesňujú spaľovací priestor, pričom by mal piest mať čo najmenšie trenie vo valci.

Značný vplyv na tieto vlastnosti má materiál z ktorého je piest zhotovený. V minulosti sa používala liatina, ktorá mala dobrú rozmerovú stálosť, nízku tepelnú rozťažnosť, zaisťovala nízke trenie vo valci, no vyznačovala sa vysokou hmotnosťou a nízkou tepelnou vodivosťou, čo zabránilo použitiu liatinových piestov v moderných dvojdobých motoroch.

Konštruktéri sa rozhodli použiť hliníkové zliatiny. Tie sa delia do dvoch druhov a to hliník s prísadou meďi a hliník s prísadou kremíku. Prvý druh má výhodnejšie mechanické vlastnosti, konkrétne vyššiu pevnosť, no s tepelnou rozťažnosťou a súčiniteľom trenia je na tom horšie. Preto sa používa hliník s prímiesou kremíku. S jeho rastúcim podielom klesá súčiniteľ trenia ako aj tepelná rozťažnosť, ale klesá jeho pevnosť.

Piesty sa vyrábajú najčastejšie z presných kokilových odliatok, ktoré pred konečným obrobením prechádzajú umelým starnutím. Jedná sa o dôležitý tepelný proces, ktorého podstatou je ohrev nehotového piestu na teplotu asi 200°C a niekoľkohodinovom ustálení na tejto teplote. Starnutie má význam pre ďalšiu rozmerovú stálosť piestu.[5]

Piesty sa tiež vyrábajú z výkovkov z hliníkovej zliatiny, ktoré im zabezpečia vyššiu mechanickú odolnosť a pevnosť. Tá je oproti kokilovým odliatkom až dvojnásobná. Ich nevýhodou je opäť vyšší súčiniteľ trenia a vyššia tepelná rozťažnosť, rovnako aj vyššia cena výkovku aj obrobenia.

Kombinácia týchto dvoch výrobných metód je akýmsi kompromisom. Hliníkové odliatky s obsahom kremíku sú prekonané a tým získavajú priaznivé mechanické, aj trecie vlastnosti, aj nižšiu tepelnú rozťažnosť.

Okrem priemeru je dôležitým rozmetom piestu jeho dĺžka. Vzhľadom na správnu funkciu, životnosť a tichý chod by mala byť čo najväčšia. Jej zväčšovanie v praxi však znamená, že sa zvyšuje hmotnosť piestu a tým pádom aj dĺžka a hmotnosť ojnice. Minimálna dĺžka piestu musí byť rovná zdvihu motora. Ak by bola menšia, celkom určite by pri hornej úvrti piestu jeho spodná hrana otvorila výfukový kanál a prepojila by ho tak s kľukovým priestorom.

Polohu piestneho čapu určuje kompresná výška, teda vzdialenosť osi piestneho čapu a hornej hrany piestu. Táto vzdialenosť by mala byť opäť čo najmenšia, čo by dobre vplývalo na životnosť piestu a jeho správnu funkciu, ale tým pádom je potrebná väčšia dĺžka ojnice. Naproti tomu nízko uložený čap je výhodný z hľadiska kratšej ojnice a jej nižšej hmotnosti.

Dno piestu musí mať dostatočnú hrúbku nielen z pevnostných dôvodov ale hlavne z tepelných. Pri nedostatočnej hrúbke dna sa nestačí teplo odvádzať zo stredu k okrajom do oblasti piestnych krúžkov, dochádza k postupnému natavovaniu až k prepáleniu dna piestu.

Každé prvky piestu ktoré sú namáhané, ako napr. otvor pre piestny čap, spodná hrana piestu ale aj okienka pre priechod zmesi, musia byť vystužené rebrami.

Piest je možné upraviť aj tzv. povlakovaním. Rozlišujeme dva typy povlakov. Prvý typ povlaku slúži na zmenšenie trenia vo valci. Používa sa obvykle na jemno mletý sulfid molybdeničitý ( $\text{MoS}_2$ ) alebo grafit v suspenzii s rozpúšťadlom, ktoré sa po nanosení odparí, prípadná kombinácia oboch materiálov. Tieto materiály sa nazývajú aj suché mazivá a znižujú trenie najmä v počiatočnej fáze zábehu motora. Druhým typom sú keramické povlaky, ktorými sa povlakuje dno piestu. Piesty s keramickým povlakom sa vyznačujú dobrou tepelnou vodivosťou a nízkou tepelnou rozťažnosťou.



*Obr. 4 Piesty motora Trabant*

### 2.2.1 PIESTNE KRÚŽKY

Piestne krúžky slúžia na utesnenie spaľovacieho priestoru a sú uložené v presne vyrobených drážkach v pieste. V dvojdobom motore sa piestne krúžky nesmú otáčať v drážkach piestu inak by došlo ku kolízii krúžku o hranu jedného z kanálov. Preto sú poistené proti pootočeniu pomocou kolíkov ktoré sa nachádzajú v drážke pre piestny krúžok. Podmienkou správnej funkcie a životnosti piestneho krúžka je jeho rovnomerný prítlak po celom jeho obvode na steny valca.

Počet piestnych krúžkov je rôzny a pohyboval sa od štyroch až po jeden piestny krúžok. V minulosti sa najviac používali tri piestne krúžky. Tento počet zaisťoval výbornú tesnosť spaľovacieho priestoru a aj životnosť. Na druhej strane spôsoboval vyššie trecie straty. Jeden piestny krúžok naopak znamená znížené trenie, nižšiu hmotnosť, no nedokáže spoľahlivo utesniť spaľovací priestor najmä na voľnobehu a nižších otáčkach. Často je kvôli tomu obtiažne naštartovať studený motor z nedostatku kompresie. Kompromisom je použite dvoch

piestnych krúžkov ktoré z väčšej časti kombinujú vlastnosti počtu krúžkov vyššie zmienených. Používajú sa na väčšine cestných motocyklov.

Hlavným výrobným materiálom na výrobu piestnych krúžkov bola šedá liatina. Kvalitnejšie krúžky sa nevyrábali z liatinovej trubky ale boli odlievané. Vonkajší a vnútorný tvar sa obrába sústružením, boky sa brúsia na plocho.

Nevýhoda liatiny sa ukázala pri prvých dvojdobých závodných motocykloch, teda praskanie. Snaha odstrániť tento problém viedla k použitiu legovanej liatiny a prísnejšej výstupnej kontroly, ale neúspešne. Nikto nehľadal problém v materiáli ale naopak vo veľkosti kanálov o ktoré sa krúžky zachycovali a následne praskali. Okienka kanálov rozdelili prepážkou a tým problém odstránili, ale za cenu zníženia výkonu. Rovnako vytvárali zaoblenia hrán kanálov pre postupné zatlačanie krúžkov do drážky v pieste. Prepážky boli problémové najmä u výfukového kanála. Práve tieto prepážky boli najteplejším miestom vo valci a často sa stávalo, že sa prepážka prehriala, vyklonila sa smerom k piestu a spôsobila zadrenie motora.

Jediné riešenie spočívalo nahradením liatiny oceľou alebo tvárnou liatinou. Oceľové krúžky prinášajú rôzne komplikácie, predovšetkým jeho cena oproti krúžku liatinovému, ktorá je mnohonásobne vyššia, horšia tesnosť a dlhšia doba zábehu krúžku vo valci.

Vyrábajú sa z pružinovej ocele štvorhranného prierezu, po obrobení sa natvrdo chrómujú. Vrstva chrómu dosahje až 0.08mm a preto odlúpnutie takto hrubej vrstvy spôsobí značné škody. Chrómovaný krúžok sa ťažko zabieha do vrtania valca, niekedy sa nezabehne ani po dobu životnosti valca.

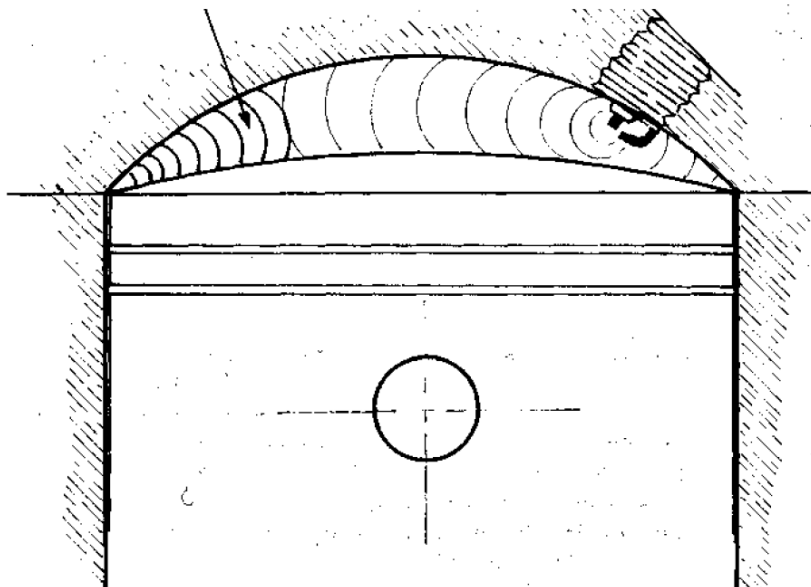
Hrúbka piestneho krúžku má zásadný dopad na jeho tesnosť, prítlak, pevnosť a životnosť. V minulosti boli používané liatinové piestne krúžky hrúbky obvykle 2mm, dnes však nájdeme stroje ktoré majú oceľové krúžky s iba polovičnou hrúbkou. Je to najmä kvôli rýchlejšiemu zábehu a nižšej hmotnosti. V dnešnej dobe je akýmsi štandardom hrúbka 1,2-1,5 mm.

## 2.3 HLAVA VALCA

Aj keď hlava valca prvým dojmom nepôsobí veľmi zaujímavo okrem hláv ktoré sú akousi ozdobou motora vďaka rôznym tvarom a rozmiestnením chladiacich rebier, zohráva veľmi podstatnú úlohu pri práci dvojdobého motora. Najdôležitejším prvkom hlavy tvar a veľkosť spaľovacieho priestoru spolu s vhodným umiestnením zapalovacej sviečky. Posledná vec, ktorú dvojdobý motor naozaj nepotrebuje je jav zvaný detonačné horenie alebo detonácia. Predtým ako sa posunieme ďalej, je dôležité si povedať, čo to detonácia vlastne je. Detonácia sa objavuje vtedy, keď nejaká časť pracovnej zmesi nie je zapálená iskrou od zapalovacej sviečky ale nastane samovznietenie. Detonačné horenie má mnohonásobne väčšiu rýchlosť ako klasické horenie, ktorá sa pohybuje okolo 25 m/s u klasických horenia, kdežto u detonačného sa môže rýchlosť horenia vyšplhať až na 500 m/s. Dochádza ku kolízii plameňa spôsobeného detonáciou a plameňa, ktorý vznikol zapálením od zapalovacej sviečky. To má za následok prudké zvýšenie tlaku v spaľovacom priestore a následné rany do komponentov motora. Z nášho pohľadu toto horenie sprevádza hlasné klepanie. Po demontáži hlavy motora, ktorý trpel detonačným horením sú veľmi dobre viditeľné známky poškodenia, predovšetkým akýmsi pittingom po okrajoch hlavy valca a piestu, v prípade hliníkového valca v jeho hornej časti. Za tento jav môže pracovná zmes, ktorá uviazne na okraji valca v priestore medzi hlavou a piestom. Je zahrievaná okolitým kovom ako aj teplom vyžarujúcim od pomalšie postupujúceho plameňa zapáleného iskrou, čo vedie k tepelnej hodnote samovznietenia.

Pokiaľ však plameň od iskry postupuje dostatočne rýchlo, uviaznutá zmes nemá dostatok času na zahriatie a k samovznieteniu nedôjde.

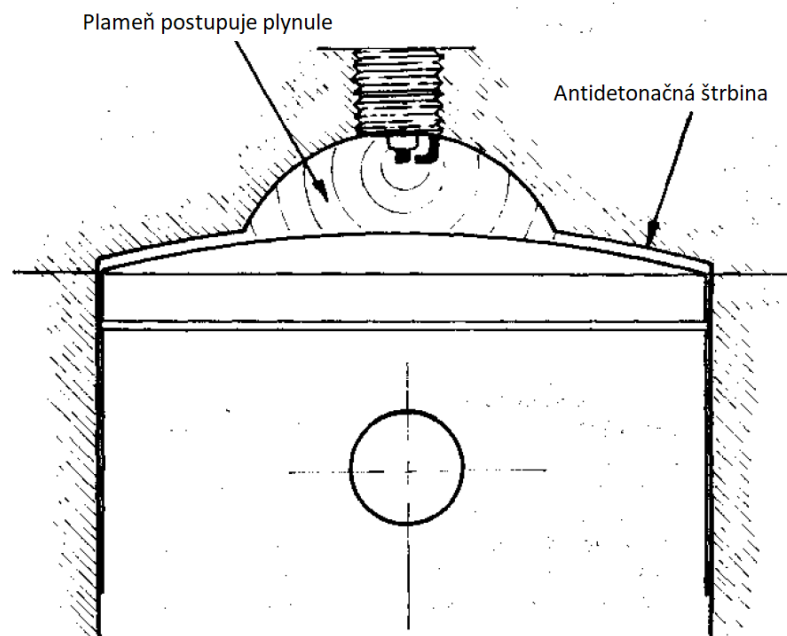
Polguľový spaľovací priestor so sviečkou umiestnenou mimo os valca.  
Detonácia plynov na okrajoch valca



Obr. 5 Detonačné spaľovanie [6]

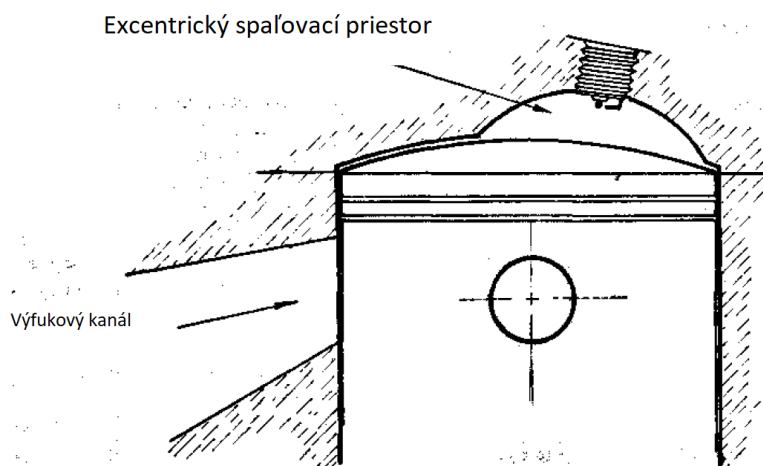
Detonačné horenie tiež môže spôsobovať príliš veľký predstih zapalovania, chudobná zmes, vysoká hustota zmesi, prehriata hlava valca, vysoký kompresný pomer a s ním použité palivo s nízkym oktánovým číslom.

Riešenie tohoto problému spočíva buď návrhom hlavy s čo najmenším spaľovacím priestorom a umiestnením zapalovacej sviečky v osi valca alebo v posunutí spaľovacieho priestoru čo najbližšie k piestu. V praxi sa táto metóda osvedčila viac ako prvá spomenutá. Totiž pri kompresii sú uviaznuté plyny vytlačené do spaľovacieho priestoru, nenastáva v tejto oblasti k žiadnemu spaľovaniu kým piest neprekoná hornú úvrať. Veľký povrch v tejto oblasti dobre odvádza teplo z hlavy a tým zabraňuje samovznieteniu. Tento prvok hlavy sa nazýva antidetonačná štrbina. Vďaka nej dochádza mimo iné aj dokonalejšiemu premiešaniu vzduchu a paliva, zároveň dochádza k lepšiemu premiešaniu zostatkovej spálenej zmesi, ktorá sa z valca nevypláchlala.



Obr. 6 Antidetonačná štrbina [7]

V snahe minimalizovať deformáciu piestu a valca vplyvom tepla prešli niektorí výrobcovia motorov na excentrický spaľovací priestor. Strana valca, na ktorej sa nachádza výfukový kanál je teplejšia ako strana sania. Ak posunieme spaľovaciu komoru mimo stredu smerom od výfuku, dno piestu na strane výfuku je izolované od plameňa antidetonačnou štrbinou, tým pádom je menej vystavené teplu a menej sa deformuje.



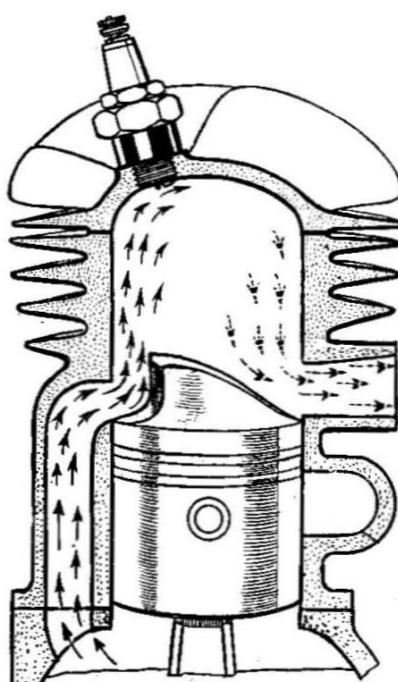
Obr. 7 Excentrický spaľovací priestor [8]

Antidetonačné štrbiny musí byť dostatočne malá na to aby spĺňala svoju funkciu, no dostatočne veľká, aby nedošlo ku kolízii dna piestu s hlavou valca pri vyšších otáčkach kvôli tepelnej rozťažnosti. Nie je jednoduché držať malé tolerancie pri výrobe komponentov motora (valec, piest, ojnice, hlava), preto sa volí zpravidla väčšia vôľa medzi piestom a hlavou v závislosti na objeme (najmä však zdvihu) motora. Jej plocha, ktorou je medzikružie by mala byť 50% z celkového obsahu valca.

## 2.4 SPÔSOBY VYPLACHOVANIA VALCA

### 2.4.1 PRIEČNE VYPLACHOVANIE

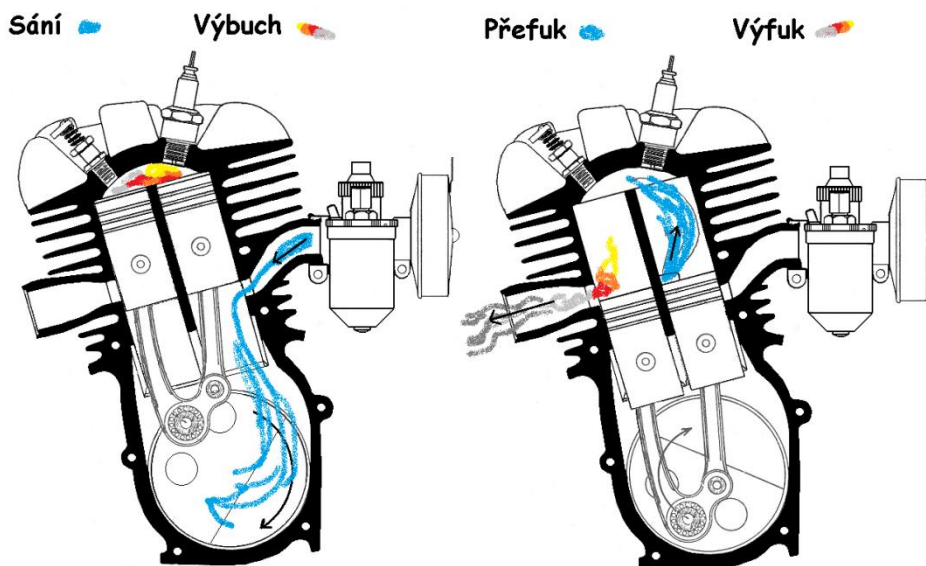
Jedná sa o najstarší spôsob vyplachovania valca. Jeho názov vyplýva z pozície prepúšťacieho kanálu voči kanálu výfukovému, teda hneď oproti. Aby prúd čerstvej zmesi neunikal do výfuku do výfuku, je tento prúd usmernený dnom piestu s deflektorom. Ten musí mať väčšiu výšku ako je výška výfukového kanálu. Nevýhoda tohto spôsobu vyplachovania je, že aj napriek dostatočnej výške deflektoru unikala značná časť zmesi do výfuku, z toho vyplýva jeho nízka účinnosť vyplachovania. Ďalšou nevýhodou bola vyššia hmotnosť piestu, jeho nerovnomerné zahrievanie a s tým súvisiaca nerovnomerná rozťažnosť, čo pri zhoršených podmienkach chladenia viedlo k zadieraniu.



Obr. 8 Priechne vyplachovanie [9]

### 2.4.2 SÚPRUDÉ VYPLACHOVANIE

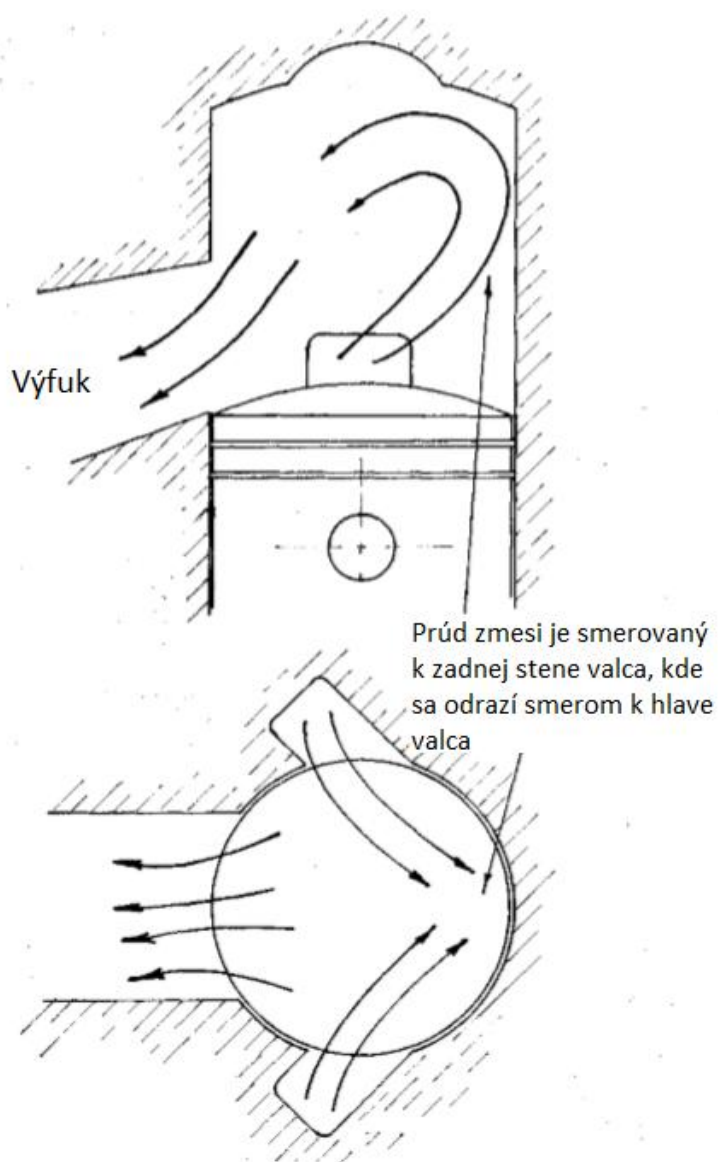
Tento spôsob sa využíval ako v zážihových tak aj vo vznetových dvojdobých motoroch. Najrozšírenejšou konštrukciou u zážihového motora bol tzv. „dvojpiestový jednovalec“. Tento motor mal dva valce s dvomi piestami rovnakého priemeru s plochým dnom avšak iba jednou spoločnou spaľovacou komorou. Oba piesty však nešli súbežne, ale jeden druhého vždy „predbiehal“, to vďaka konštrukcii rozvidlenej ojnice (Manet 90). V jednom cylindri valca sa nachádzal sací a prepúšťací kanál a v druhom cylindri výfukový kanál. Pohyb piestov zabezpečoval nesymetrický rozvod, čo znamená, že ako u jediného typu vyplachovania sa výfukový kanál v druhom cylindri zatvára skôr ako sa uzavrie prepúšťací kanál v prvom cylindri. To má za následok prakticky minimálny únik čerstvej zmesi do výfuku a teda nie je nutné navrhovať zložitý výfukový systém. Tento spôsob sa používal na niektorých motoroch závodných motocyklov v dobe pred 2. sv. vojnou. Nevýhoda spočívala vo veľkej hmotnosti piestov a rozvidlenej ojnice, nevhodnom tvare spaľovacieho priestoru.



Obr. 9 Súprúdové vyplachovanie motora Manet 90 [10]

### 2.4.3 VRATNÉ VYPLACHOVANIE

Zo všetkých spôsobov vyplachovania je práve tento najefektívnejší, a preto sa používa dodnes. Jeho konštrukcia spočíva v minimálne jedom páre prepúšťacích kanálov ktoré sú umiestnené blízko výfukového kanála s sú nasmerované tak, aby bol prúd čerstvej zmesi nasmerovaný na protilahlú stenu valca od výfukového kanálu. Tam prúd mení smer, odráža sa od hlavy valca a vracia sa smerom k výfuku. Tento spôsob si nechal patentovať v roku 1925 nemecký inžinier Adolf Schnürle, preto sa niekedy nazýva aj Schnürleho vyplachovanie. V roku 1932 jeho patent odkúpila nemecká firma DKW, po 2. sv. vojne po vypršaní autorských práv začali tento systém používať takmer všetci výrobcovia moderných dvojdobých motorov. Výroba valca s daným usporiadaním kanálov nie je zložitá avšak musí byť zaistená symetria pravej a ľavej strany valca spolu s tvarom prepúšťacích kanálov. Aby zdokonalili vyplachovanie, firma Scott a Zündapp v 30. rokoch pridala do valca tretí prepúšťací kanál oproti výfukovému so sklonom 45°. Tento tretí kanál (niekedy nazývaný aj „boost kanál“) pomáhal usmerňovať prúd zmesi prúdiaci z dvojice primárnych prepúšťacích kanálov.

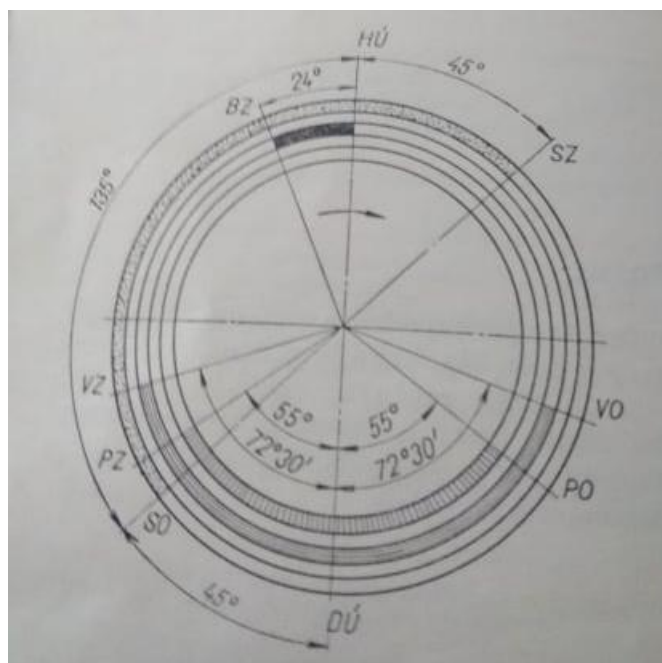


Obr. 10 Znázornenie vratného vyplachovania [11]



## 2.5 ROZVOD MOTORA

Rozvod motora riadi plnenie a aj vyprázdnňovanie zmesi. Na rozdiel od motorov štvordobých kde je rozvod riadený vačkovým hriadeľom a ventilmi, u dvojdobého motora ho tvoria kanály vo valci a v kľukovej skrini, ktoré sú ovládané buď piestom alebo inými spôsobmi, ktoré si popíšeme v nasledujúcich podkapitolách. Umiestnenie, tvar a prierezy kanálov majú podstatný vplyv na chod motora, jeho výkon a hospodárnosť. Časovanie motora je možné graficky znázorniť pomocou kruhového rozvodového diagramu, kde sú doby otvárania a zatvárania kanálov uvedené v kruhových oblúkoch zodpovedajúcim uhlovému natočeniu kľukového hriadeľa.



Obr. 11 Rozvodový diagram motora Trabant [12]

Aby bolo možné valec navrhnuť, je nutné tieto hodnoty uhlov previesť na rozmery dĺžky. Spravidla sa merajú od hornej hrany vložky valca. Tie sa musia vypočítať podľa tohoto vzorca [13]:

$$X = L + R \cdot (1 - \cos \alpha) - \sqrt{L^2 - (R \cdot \sin \alpha)^2}$$

kde:

X je vzdialenosť hornej hrany kanálu od hornej hrany vložky valca [mm]

L je dĺžka ojnice (vzdialenosť medzi osami horného a spodného oka ojnice) [mm]

R je polovičná hodnota zdvihu motora [mm]

$\alpha$  je uhlová hodnota natočenia kľukového hriadeľa voči hornej alebo dolnej úvrati [°]

### 2.5.1 ROZVOD PIESTOM

Tento druh rozvodu je v praxi najrozšírenejší. Jeho aplikáciu nájdeme všade od motorových píl až po motory motocyklov a automobilov. Jeho konštrukčná jednoduchosť a výrobná nenáročnosť a s tým súvisiace nízke výrobné faktory sú jedným z rozhodujúcich faktorov pre výrobu motorov práve s týmto druhom rozvodu. Princíp rozvodu motora piestom je ten, že všetky kanály v motore sú ovládané iba pohybujúcim sa piestom. Sací kanál je umiestnený na zadnej strane valca a je ako jediný ovládaný spodnou hranou piestu. Dôležitý je celkový uhol otvorenia sania, ktorý je symetrický, čo nie vždy priaznivo vplýva na výkon motora a to práve v prípade kedy je sanie otvorené príliš dlho a dochádza k spätnému prúdeniu zmesi naspäť do karburátora. To je hlavná nevýhoda rozvodu piestom, preto sa nepoužíva na výkonných motoroch, kde je výhodnejšie použitie nesymetrického rozvodu.

### 2.5.2 ROZVOD ROTAČNÝM ŠÚPATKOM

Toto je príklad nesymetrického rozvodu, ktorým je možné bezpečne zvýšiť výkon motora avšak za cenu komplikovanejšej stavby motora. Výhoda použitia rotačného šúpatka je nielen vo zväčšení celkového uhlu otvorenia sania ale aj v jeho polohe, teda v okamihu počiatku sania. Narozdiel od rozvodu piestom, kde sanie začína až v druhej polovici zdvihu piestu, motor s rotačným šúpatkom môže počiatok sania posunúť hneď do okamihu zdvihu piestu z dolnej úvrate do hornej, tým pádom sa prevažná časť pohybu piestu využije na plnenie motora efektívnejšie. Ďalšou výhodou je aj dlhšia doba plného otvorenia sacieho kanála, kdežto u rozvodu piestom je to len v polohe hornej úvrate.

V minulosti sa používali šúpatká vlnové, no najpoužívanejším typom sú rotačné diskové šúpatká. Ako materiál sa najčastejšie používa oceľový plech hrúbka 1,5-2 mm, no u vysokootáčkových motorov sa používa pružný tvrdý oceľový plech hrúbky 0,5mm, ktorého drážkovaný unášač je axiálne posúvateľný na drážkovanom čape kľukového hriadeľa a tesnenie šúpatka spočíva iba v rozdieloch tlakov v kľukovej skrini a v sacom potrubí. Bežným konštrukčným riešením unášania a tesnenia rotačného šúpatka sú nalisované kolíky v ramene kľukového riadeľa a pružinkami pritláčané šúpatko o stenu skrine motora zaisťuje jeho tesnosť. Typickým príkladom tohoto riešenia je aj motor Trabant.



*Obr. 12 Rotačné šúpatko motora Trabant*

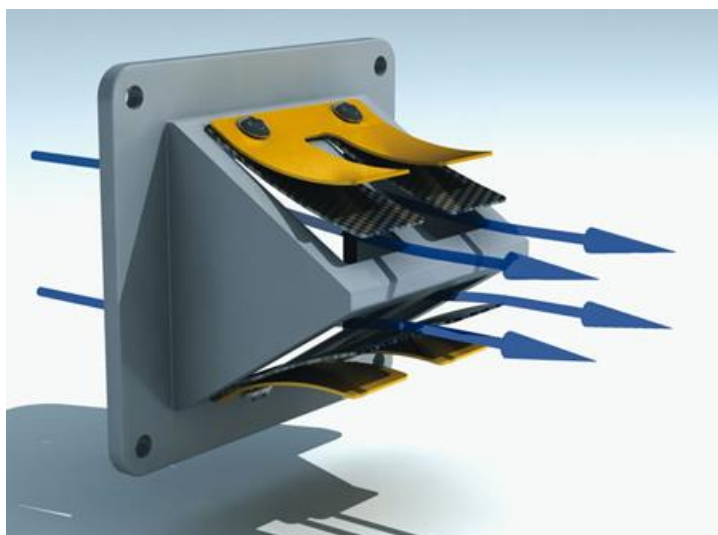
Nevýhodou systému rotačného šúpatka je umiestnenie karburátora a čističa vzduchu, ktoré sa nachádzajú väčšinou na boku motora.

### 2.5.3 JAZÝČKOVÝ VENTIL

Tento princíp je známy už od počiatku vývoja dvojdobých motorov aj štvordobých motorov. Avšak kvôli vysokej hmotnosti ventilu, teda jeho vysokej zotrvačnej hmoty sa od tohoto riešenia upustilo.

Princíp moderného riešenia jazýčkového ventilu je založený na podtlakom ovládané sanie. Tvar jazýčkového ventilu pripomína akúsi striešku, ktorú prikrývajú tenké jazýčky, zväčša z tenkého pružného korozivzdorného oceľového plechu hrúbky 0,15-0,2 mm v závislosti na veľkosti motora. Pri nasávaní zmes prúdi z vnútornej strany striešky a už aj pri malom otvorení jazýčkov sa dosahuje veľkého prierezu pre prietok zmesi.

Hlavným prínosom tohoto systému je účinnejšie plnenie. Ďalším prínosom je, že jazýčkový ventil neumožní spätný únik zmesi do karburátora. Oproti predošlým typom rozvodov, kde sú riadiace prvky rozvodu ovládané mechanicky, jazýčkový ventil je riadený podtlakom z kľukovej skrine, čo zaisťuje motoru optimálne plnenie v celom spektre otáčok. Aby nedochádzalo pri vyšších otáčkach k rozkmitu jazýčkov, sú na ventile montované dorazy.



Obr. 13 Jazýčkový ventil [14]

## 2.6 VÝFUKOVÝ SYSTÉM

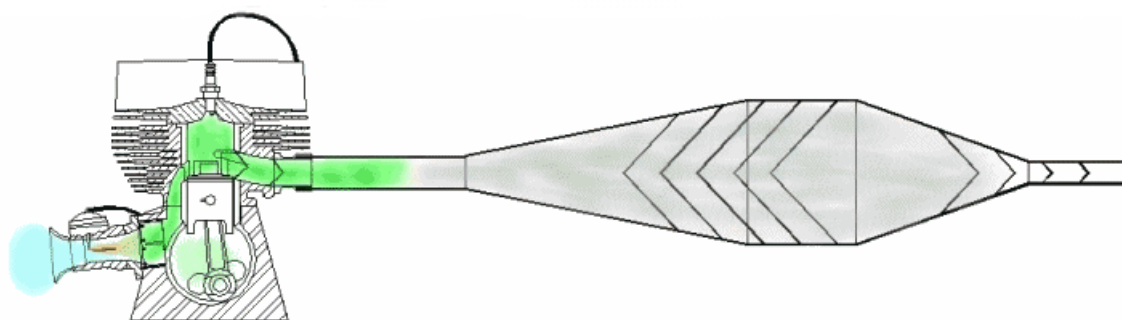
Azda naväčší vplyv na výkon, účinnosť a hospodárnosť dvojdobého motora je výfuková sústava. Na štvordobých motoroch tvorí výfukovú sústavu trubka konštantného prierezu a výfukový tlmič. U dvojdobého motora je stavba výfukovej sústavy zložitejšia. V minulosti sa na výfuk pozeralo ako na akési potrubie, ktoré slúžilo na čo najrýchlejší odvod spalín z motora. Neskôr sa konštruktéri začali zaoberať tlakovými vlnami, ktoré sa pokúšali využívať s cieľom efektívnejšieho výplachu valca. Ako som uvádzal v predchádzajúcich kapitolách, dvojdobý motor nedisponuje dokonalým vyplachovaním, čo má za následok únik čerstvej zmesi do výfuku. V okamihu otvorenia výfukového kanálu nastáva pokles tlaku vo valci a tlaková vlna sa šíri výfukovým potrubím. V tomto momente je nutné časť vlny odraziť smerom k motoru tak, aby odrazená vlna bola schopná vrátiť uniknutú zmes naspäť do valca.

Na motoroch závodných motocyklov v období pred 2. sv. vojnou boli používané iba holé trubky konštatného prierezu. Pri otvorení výfukového kanálu postupuje trubkou pozitívna tlaková vlna rýchlosťou zvuku, na otvorenom konci sa odrazí a mení sa na negatívnu vlnu, ktorá sa vracia ku valcu, ale s výrazne nižšou intenzitou v dôsledku straty veľkej časti energie do atmosféry. Negatívna vlna pomôže vyprázdniť valec, otočí sa a postupuje smerom od valca ku otvorenému koncu výfuku, kde sa opäť odrazí a zmení na pozitívnu. Ak bola zvolená správna dĺžka potrubia, pozitívna vlna dorazila k valcu ešte pred uzavrením výfukového kanálu. V skutočnosti systém trubky rovného prierezu, nie je tak efektívny ako sa na prvý pohľad zdá, veľa tlakovej energie sa stratilo do ovzdušia.

Dvojdobý motor potrebuje silné pulzácie a preto viedlo konštruktérov k použitiu akéhosi megafónu alebo presnejšie nazvaného difuzéru umiestneného na konci výfukovej trubky. Pozitívna vlna postupuje smerom k difuzéru, až sa koniec trubky začne rozširovať, vlna sa správa akoby dorazila k otvorenému koncu. Na rozdiel od otvoreného konca si odrazená negatívna zachováva väčšinu svojej energie. Tá môže byť v určitých prípadoch (ak nie je dostatočne správne načasovaná) tak silná, že ňou vytvorené vákuum vtiahne do výfuku ešte viac čerstvej zmesi. Výfukový kanál sa uzavrie ešte predtým, ako pozitívna vlna stihne vrátiť uniknutú čerstvú zmes naspäť do valca.

Snaha zdokonaľiť výhody a odstrániť nevýhody predchádzajúceho modelu viedla k použitiu difuzéru a opačne orientovaného kužeľa s malým výstupným otvorom. Pozitívna postupuje k difuzéru a až do tohto momentu prebieha všetko rovnako ako výfukovej sústavy iba s difuzérom. Rozdiel nastáva v tom, že keď sa pozitívna vlna dostane z difuzéru, odrazí sa od opačne orientovaného kužeľa smerom k motoru s približne rovnakou intenzitou vďaka malému výstupnému otvoru, ktorý sa v tejto situácii správa ako uzavretý koniec. Odrazená pozitívna vlna vracia do valca uniknutú zmes, čo zvýši výkon a zníži spotrebu.

Tento systém nazvaný aj ako „expanzná komora“ alebo „dvojkomorový výfuk“ zaznamenal vo vývoji výfuku dvojdobého motoru prielom a stal sa akýmsi základom pre moderné dvojdobé motory.



Obr. 14 Motor s výfukom s expanznou komorou [15]

## 2.7 VÝHODY DVOJDOBÉHO MOTORA V POROVNANÍ SO ŠTVORDOBÝM

Dvojdobý motor obsahuje iba 3 pohyblivé časti (klukový hriadel, ojnica a piest), tým pádom je jeho konštrukcia jednoduchšia, nakoľko nepotrebuje vačkový hriadel, ventily, pružiny, pohon rozvodu ani olejové čerpadlo. Zároveň je teda aj jeho výroba menej nákladná aj menej

náročnejšia. Z hľadiska menších rozmerov sa stále používa v záhradnej technike a v motocykloch.

Dvojdobý motor má nižšiu hmotnosť na 1 kW výkonu a zároveň má aj vyšší merný výkon proti štvordobému motoru. Na teoretickej úrovni by mal mať dvojdobý motor dvojnásobný výkon ako štvordobý vďaka polovičnému počtu zdvihov potrebných na vykonanie jedného cyklu, ale v praxi tomu tak nie je. Môže za to nedokonalé vyplachovanie valca.

Ďalšou nespornou výhodou je jednoduchá a nízko nákladná údržba a lacnejšie opravy. U dvojdobého motora odpadáva nastavovanie vôle ventilov a výmena oleja, nakoľko sa motor maže zmesou benzínu a oleja najčastejšie v pomere 50:1.

## 2.8 NEVÝHODY DVOJDOBÉHO MOTORA V POROVNANÍ SO ŠTVORDOBÝM

Medzi hlavné nevýhody patrí najmä vyššia merná spotreba, ktorá je spôsobená práve nedokonalosťou vyplachovania.

V dôsledku stratového mazania, kde dochádza k spaľovaniu oleja, dvojdobé motory nevyhovujú prísnyh emisným limitom a to ani v prípade moderného dvojdobého motora v priamom vstrekaní a katalyzátorom. U starších motorov bol problém s karbónovými úsadami, ktoré vznikajú spaľovaním oleja. Dnešné syntetické oleje účinne potláčajú tvorbu týchto úsad a pri dodržiavaní pomeru miešania oleja a benzínu stanoveného výrobcom tento problém takmer prestal existovať.

Dvojdobý motor má v nízkych otáčkach nepravidelný beh a to opäť v dôsledku nedokonalého vyplachovania, teda presnejšie, nevhodnou veľkosťou prepúšťacích kanálov. Ich veľkosť je určená na základe prevádzkových otáčok a spôsobujú že pri nízkych otáčkach, kedy je stačenie zmesi v skrini pod piestom je malé, prúd zmesi má po vyústení z prepúšťacích kanálov nízku rýchlosť a tak nestačí efektívne vypláchnuť valec od spalín, dojde k premiešaniu spalín s čerstvou zmesou. Vzniknutá zmes nie je horľavá, iskra ju nezapáli a motor vynecháva.

Dvojdobé motory sú hlučnejšie a preto je potrebné venovať pozornosť zložitejšej konštrukcii tlmiča výfuku.

V dôsledku dvojnásobného počtu pracovných zdvihov sú dvojdobé motory a ich komponenty viac tepelne namáhané, preto je dôležité zaistiť spoľahlivé a dostatočne účinné chladenie.

Ako je z tohto porovnania zjavné, nevýhody dvojdobých motorov prevažujú ich výhody. Sú to kľúčové dôvody, prečo dvojdobý motor stratil v modernej dobe uplatnenie a uprednostňuje sa štvordobý motor, samozrejme najmä v automobilovej doprave.

### 3 ZVÝŠENIE VÝKONU DVOJDOBÉHO MOTORA

Dvojdobé motory majú vo svete mnoho nadšencov. Je to práve kvôli množstvu možností zvyšovania ich výkonu, bez výmeny polovice komponentov motora za komponenty ktoré svojou konštrukciou zaručene zvýšia výkon, ako to býva u motorov štvordobých. Úprava dvojdobého motora si vyžaduje určité skúsenosti, manuálnu zručnosť, čas, rozvahu a v neposlednom rade aj peniaze potrebné na zabezpečenie náhradných komponentov motora či už na výmenu alebo na ladenie a aj na vybavenie dielne. Mechanik si musí vopred rozmyslieť, čo chce danou úpravou dosiahnuť, teda či chce mať vyšší výkon v najvyšších otáčkach alebo chce zachovať pôvodný tvar výkonovej a momentovej krivky, len ich posunúť do vyšších hodnôt. Na úpravu sa používa najmä mikrobrúska so stopkovými frézami rôznych tvarov a veľkostí. Práca s nimi musí byť kontrolovaná a veľmi precízna, pretože stačí ak z určitého miesta odobereme o 0,5 mm viac materiálu ako by sme mali a celá naša práca by bola prakticky zbytočná. Každá úprava býva vždy na úkor niečoho. Pri zvyšovaní výkonu je to hlavne na úkor zníženej životnosti motora a zvýšenia spotreby. Preto je nutné najprv tieto faktory zvážiť ešte pred samotnou úpravou.

Ak sme sa napokon rozhodli pre úpravu, na prvom mieste, je kontrola všetkých komponentov motora. Je nutné si uvedomiť, že určité komponenty budú mať spomínanú nižšiu životnosť a preto stojí za zváženie ich výmena za nové, príp. repasované. Po kontrole a prípadnej výmene nie je na škodu upraviť motor na výkresový. Výkresový motor má dokonale zlíčované všetky kanály, vyhovujúci povrch stien a hlavne komponentov bez karbónových usadenín. Táto nenáročná úprava výkon zvýši len nepatrne ale rozhodne zlepši jeho priebeh. Dôležitou súčasťou každej úpravy je následná skúška a nastavenie motora. Nastavuje sa predstih zapalovania a zloženie zmesi vzduchu a paliva.

Ďalšou jednoduchou a finančne menej nákladnou úpravou je vybrúsenie valca na väčší priemer, čo zvýši zdvihový objem motora a tým aj výkon. Krivka výkonu ostane nezmenená z dôvodu, že sme žiadnym spôsobom nemenili časovanie motora, iba sa posunú hodnoty výkonu a momentu nahor.

Ďalšie úpravy motora na vyšší výkon si vyžadujú úpravy časovania a tie si uvedieme v nasledujúcich kapitolách.

### 3.1 ZMENA ČASOVANIA ÚPRAVOU KANÁLOV

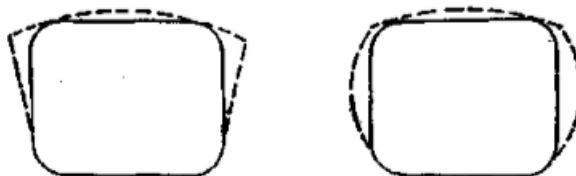
#### 3.1.1 VÝFUKOVÝ KANÁL

Ak chceme zvýšiť výkon, najlogickejšim krokom je úprava výfukového kanála. Pozornosť venujeme najmä úprave jeho tvaru a jeho výšky, t.j. vzdialenosti hornej hrany výfukového kanála od hornej hrany valca (rovina kolmá na os valca). Motory s nízkym výkonom používajú trochu konzervatívny obdĺžnikový tvar kanála. Ak zvýšime hornú hranu kanála, výkon, aj krútiaci moment bude väčší, no ich maximálne hodnoty sa posunú do vyšších otáčok. Hornej hrane môžeme vybrúsiť rádius, ktorý pomôže postupnému zatlačovaniu piestnych krúžkov do drážok piestu pri prechode kanálom. Preferovaný tvar kanála je tvar oválny alebo eliptický. Kanál je taktiež možno rozšíriť aj do strán, ale je potrebné dbať na dostatočnú medzeru medzi výfukovým a prepúšťacím kanálom.

Pôvodný tvar kanála



Upravený tvar kanála (čiarkovane)



Obr. 15 Úprava tvaru výfukového kanála [16]

Rôzne motory majú rôzny rozsah doby otvorenia výfukového kanálu, od malých motorov s nízkym výkonom, kde je doba otvorenia kanálu okolo 140° otočenia kľukového hriadeľa až po motory závodných motocyklov, kde sa táto hodnota pohybuje v číslach okolo 200°. Túto hodnotu je možné vypočítať pomocou nasledovného vzťahu[17]:

$$D = \left( 180 - \cos^{-1} \frac{T^2 + R^2 - L^2}{2 \cdot R \cdot T} \right) \cdot 2$$

kde  $D[^\circ]$  je doba otvorenia kanálu

$$T[\text{mm}] = R + L + C - E$$

$R[\text{mm}]$  je polovica zdvihu motora

$L[\text{mm}]$  je dĺžka ojnice, t.j. vzdialenosť os horného a spodného oka ojnice

$C[\text{mm}]$  je vzdialenosť hornej hrany piestu od hornej hrany valca (väčšinou je jej hodnota nulová)

$E[\text{mm}]$  je vzdialenosť hornej hrany kanála od hornej hrany valca

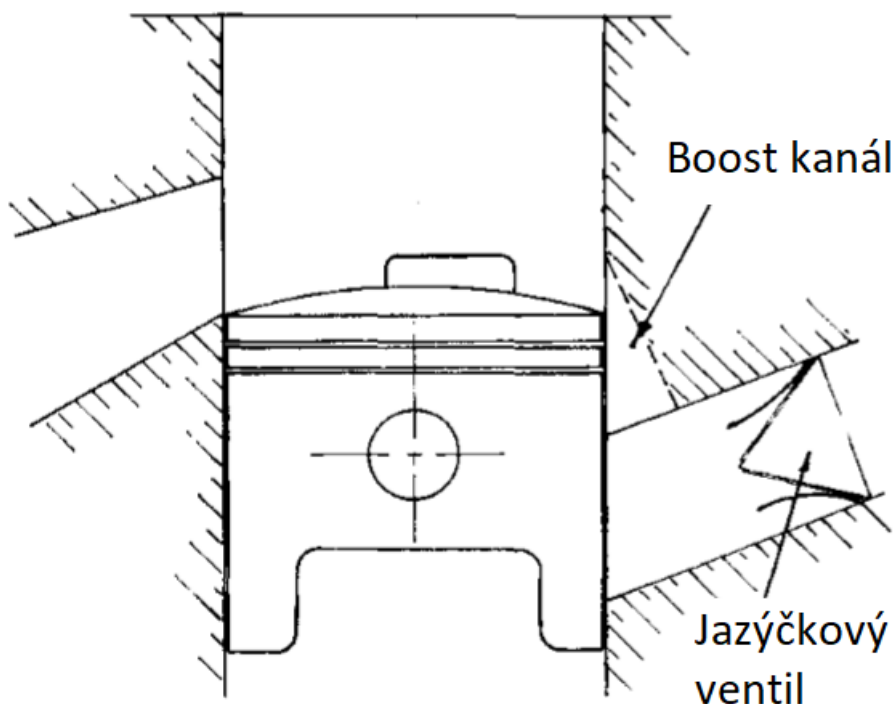
Výfukový kanál nesmie mať ostré zmeny prierezu, ak má, je nutné ich zaobliť a zahľadiť, výstupný otvor zlicovať s výfukovou prírubou a steny kanála vyleštiť, aby sa na ich povrchu neusádzal karbón.

Pri úprave výfukového kanálu tohto rozsahu, nemusí sériový výfukový systém zabezpečovať spoľahlivé vyplachovanie, preto bude zrejme potrebné použiť vhodný dvojkomorový výfuk. Vo výfukovom systéme sú akékoľvek náhle zmeny prierezu a smeru s ostrou hranou nežiadúce. Všetky ohyby by mali byť čo najplynulejšie bez ostrých hrán, aby sme dosiahli plynulé prúdenie plynov.

### 3.1.2 PREPÚŠŤACIE KANÁLY

Upravovať prepúšťacie kanály sa všeobecne neodporúča. Je to kvôli ich presnému tvaru a vyústeniu, ktorý vznikol pri odlievaní valca a obmedzenému prístupu pre obrábací nástroj. Jedinou prípustnou úpravou je zahľadanie všetkých nedokonalostí a ostrých hrán.

U dvojkanálových motorov (motory s dvomi prepúšťacími kanálmi), je možné vyfrézovať tzv. boost kanály. Tie sa spravidla umiestňujú v protiľahlej stene od výfukového kanála. Ich sklon voči stene valca býva najčastejšie  $45^\circ$ . Tieto kanály pomáhajú usmerniť prúd zmesi vytvorený prepúšťacími kanálmi a pomáhajú dokonalejšiemu vypláchnutiu spálenej zmesi.



Obr. 16 Príklad vyhotovenia tretieho prepúšťacieho (boost) kanála v kombinácii s jazýčkovým ventilom [18]

### 3.1.3 SACÍ KANÁL

Poznáme tri druhy rozvodov sania: piestom, rotačným šúpatkom a jazýčkovým ventilom. Nárast výkonu však zaručí len jazýčkový ventil, lebo narozdiel od ostatných druhov je ovládaný podtlakom a nie mechanickou súčiastkou (piest, unášacie kolíky na ramene kľukového hriadeľa). Pred akoukoľvek úpravou sacieho kanála je ideálne, aby sací kanál v motore a karburátor boli v jednej osi, ak to nie je možné, je treba zabezpečiť plynulý ohyb kanála bez zlomov alebo náhlych zmien prierezu. Nutnosťou je aj zladenie prírub karburátora a kanála aby sme minimalizovali straty spôsobené vírením zmesi. Akékoľvek ostré prechody zaoblíme a vyhladíme, kde je potrebné plynulé prúdenie zmesi, najmä v rohoch, vyplníme tieto rohy vhodným prípravkom, napr. epoxidovou živicom s kovovým plnidlom. Steny kanála



aj sacieho hrdla zbavíme nedokonalostí, ktoré vznikli pri odlievaní a zlepšíme ich povrch. Tým dosiahneme plynuté prúdenie zmesi bez trecích strát.

Pri motore s piestovým rozvodom upravujeme spodnú hranu sacieho kanála, je možné ju znížiť o 2-3 mm v závislosti na zdvihovom objeme motora. Pri obrábaní dbáme na tvar hrán kanálu. Horná hrana kanálu by mala byť rovnakého tvaru ako je spodná hrana piestu, bočné hrany a spodná hrana kanálu je zaoblená podobne ako u výfukového kanála. U tohto typu rozvodu nie vhodné nekonečne znižovať spodnú hranu kanálu z dôvodu spätného unikania zmesi do karburátora. Rozvod piestom je symetrický, teda sanie začína aj končí v rovnakej polohe piestu vo valci. Ak sanie začne v momente zdvihu piestu z dolnej úvrate do hornej, končiť bude v momente dosiahnutia dolnej úvrate piestu, teda v momente keď sa otvorili prepúšťacie knály vo valci. Preto je vhodné u rozvodu piestom zvoliť dobu sania v závislosti na požadovanom prevádzkovom režime motora. Väčšinou sa jedná o dobu  $140^\circ$  otočenia kľukového hriadeľa, teda  $70^\circ$  pred hornou úvraťou pre motory s menším počtom otáčok. Pre vysokootáčkové motory je doba otvorenia sacieho kanála až  $200^\circ$ .

Úprava motora s piestovým rozvodom na šúpatkový je z konštrukčného hľadiska zložitá a z tohto dôvodu sa nepoužíva. Oveľa viac preferovaná je úprava na rozvod jazýčkovým ventilom. Tá spočíva vo vyfrézovaní domca pre samotný jazýčkový ventil, ktorý sa namontuje priamo na valec. Na domec sa vyrobí príruha so sacím hrdlom s vonkajším aj vnútorným priemerom zhodným s karburátorom. Do piestu je potrebné vyrezať okienko tak, aby žiadna jeho hrana neprekryvala sací kanál, tzn. že piest už sací kanál ovládať nebude.

Druhou možnosťou je sací kanál zaslepiť alebo vyplniť epoxidovou živicom idálne s kovovým plnivom a domec pre jazýčkový ventil namontovať na kľukovú skriňu. Obe tieto úpravy je potrebné zvážiť na základe priestoru pod kapotážou, nakoľko úprava na jazýčkový ventil zaberá viac priestoru ako sériové prevedenie.

Motory so šúpatkovým rozvodom je možné upravovať podobne ako motory s piestovým rozvodom. Motory so saním riadeným šúpatkom majú nesymetrické časovanie, čo umožňuje zvoliť rozdielne uhly otvorenia aj zatvorenia zmesi. Tvar okna sacieho kanála upravíme podľa tvarov hrán rotačného súpatka bez zmeny časovania. Úpravu doby sania je možné vykonať buď obrobením sacieho kanála alebo skrátením hrán rotačného šúpatka.

#### 3.1.4 OSTATNÉ ÚPRAVY

Zmenšením spaľovacieho priestoru dosiahneme vyšší kompresný pomer a aj výkon. Pri úprave hlavy valca je nutné dbať na rovinnosť dosadacej plochy na valec inak by sa prejavili netesnosti a motor by strácal výkon. Ďalej treba brať ohľad aj na veľkosť a tvar antidetonačnej štrbiny. Všeobecne platí, že tvar antidetonačnej štrbiny by mal kopírovať pôvodnú predlohu. Pre jej veľkosť alebo šírku platí, že plocha ktorú zaberá antidetonačná štrbina by mala byť 50% plochy celého spaľovacieho priestoru resp. vrtania.

Odlahčovanie ramien kľukového hriadeľa má za výsledok rýchlejšiu reakciu na pridanie plynu a zároveň zmenšenie kľukového priestoru, teda zvýšenie kompresie pod piestom, čo prospieva dokonalejšiemu vyplachovaniu. Pri odlahčení ramien vrtaním otvorov a následne ich zaslepením nejakým materiálom s nízkou hustotou (v minulosti korok, v dnešnej dobe plast) sa musí kľukový hriadeľ opätovne vyvážiť. Ak zmenšujeme priemer ramien, je nutné vyrobiť akési podkovy, ktoré sa vložia do kľukovej skrine a budú nahrádzať ramenám odobratý materiál. Táto úprava výkon nezvýši, ale zlepši reakciu na plynový pedál.

## 4 ÚPRAVY MOTORA TRABANT

### 4.1 PRÍPRAVY PRED ÚPRAVOU

Ešte pred začatím úpravy som musel zvážiť, či sú moje dielenské vybavenie a schopnosti a zručnosti dostatočné. Každú úpravu som diskutoval s ľuďmi, ktorí majú v oblasti úprav motorov praktické skúsenosti. Jednalo sa väčšinou o starších kamarátov z trabanklubov v Českej aj Slovenskej republike. Bývalí pretekári, ktorí jazdili rally práve na upravených Trabantoch spísali rôzne návody na úpravy, ktorými som sa nechal inšpirovať.

#### 4.1.1 VÝBER VHODNÝCH KOMPONENTOV NA ÚPRAVU

Táto časť je veľmi dôležitá z hľadiska konečného výsledku a je aj akýmsi úvodom tejto úpravy. Kľuková skriňa, valce a hlavy motora sú komponenty ktoré budú podliehať úprave.

Pri výbere kľukovej skrine som dbal na jej konštrukciu, tj. mazacie kanáliky, ktoré pomáhali mazat' valivé elementy v ložiskách. Tieto kanáliky sa nachádzali iba v starších typoch skrine, v novších sa už nevyskytujú (z finančných dôvodov- ušetrenie jednej výrobnéj operácie).



*Obr. 17 Kľuková skriňa*

Pri výbere páru valcov som spravil chybu, ktorú som našťastie odhalil včas a použil som iný pár valcov. Išlo o vadu materiálu na hliníkovom odliatku. Pri doťahovaní hláv valcov dochádzalo k vytrhávaniu závrtných skrutiek z valca. História týchto valcov nepoznám, no z týchto vlastností usudzujem, že v minulosti došlo pravdepodobne k veľkému prehriatiu motora. Použil som preto iný pár valcov, ktoré sú v poriadku.

Počas výroby sa používali hlavy valcov s kompresným pomerom 7,5 a neskôr aj 7,8. Pri meraní objemu kompresného priestoru metódou, pri ktorej je nalievajú olej cez sviečkový otvor som zistil že objem kompresného priestoru hlavy s pomerom 7,5 bol  $46\text{cm}^3$  a pri hlave s pomerom 7,8 bol  $44\text{cm}^3$ . Pochopiteľne som vybral pár hláv s vyšším kompresným pomerom.

## 4.2 ZNÍŽENIE HLÁV VALCOV

Túto úpravu som zveril skúsenému sústružníkovi, ktorému som dal požadované hodnoty rozmerov antidetonačnej štrbiny. Hlavu valca som nechal znížiť o 2mm. Objem spaľovacieho priestoru po úprave klesol zo 44cm<sup>3</sup> na 37cm<sup>3</sup>.



*Obr. 18 Upravená hlava valca*

## 4.3 ÚPRAVA KLUKOVEJ SKRINE

### 4.3.1 ÚPRAVA SACIEHO KANÁLU

Oba otvory sacích kanálov som rozšíril o 3mm po smere otáčania motora a ich hornú hranu som zvýšil o 1mm. Tým som dosiahol, že sanie bude končiť neskôr, tým pádom je možné viac naplniť priestor pod piestom. Hrdlo sacieho kanála som obrúsil a vyhladil jeho steny aby som dosiahol plynulejšieho prúdenia zmesi do motora.



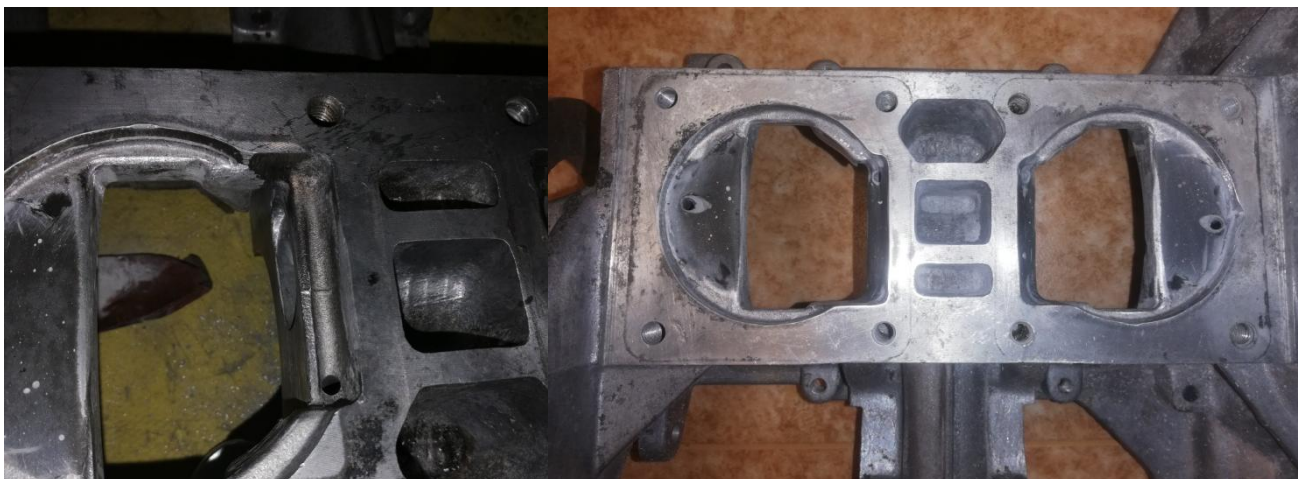
*Obr. 19 Sací kanál pred úpravou*



*Obr. 20 Sací kanál po úprave*

#### **4.3.2 VYPLNENIE PRÁZDNYCH MIEST**

Prázdne miesta som vyplnil epoxidom a následne vybrúsil.



*Obr. 21 Prázdne miesta v skrini vyplnené*



*Obr. 22 Zaoblené ostré hrany a vyleštený povrch kľukovej skrine*

#### 4.4 ÚPRAVA VALCOV

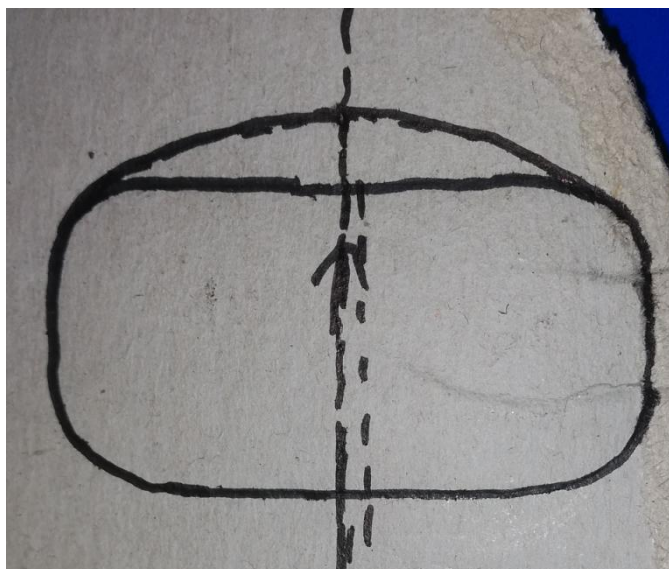
Prepúšťacie kanály v spodnej časti valcov bolo potrebné zladať ku kľukovej skrini, aby bol prúd zmesi čo najplynnejší, ideálne bez vírenia. Tomu je možné čiastočne zabrániť zaoblením ostrých hrán.



Obr. 23 Zladené prepúšťacie kanály so skriňou motora

Vyústenie prepúšťacích kanálov som neupravoval, tvar aj vyústenie boli presne vytvarované vo výrobe.

Výfukový kanál som upravil nasledovne. Pôvodná výška kanálu bola 51mm od hornej hrany valca. Jeho hornú hranu som opracoval na výšku 47mm od hornej hrany valca. Bolo potrebné vyrobiť si šablónu kanálu z kartónu, aby bol zaistený rovnaký tvar kanálov na oboch valcoch.



Obr. 24 Šablóna výfukového kanála

Zaoblená horná hrana kanála zaisťuje postupné zatlačanie piestneho krúžku do drážky v pieste, tým predídeme poškodeniu krúžku. Výfukový kanál som zlicoval s výfukovým potrubím rovnako aj tesnenie výfukového potrubia. Následne som celý výfukový kanál vyleštil, aby som zabránil usadzovaniu karbónu na stenách kanála.



Obr. 25 Upravený výfukový kanál

Na záver je potrebné poslať valce na výbrus. Touto cestou som sa rozhodol zväčšiť zdvihový objem motora z vrtania 72,00mm na 75,50mm.

$$V_z = \frac{\pi \cdot 7,55^2}{4} \cdot 7,3 = \mathbf{326,81 \text{ cm}^3}$$

kde  $V_z$  je zdvihový objem.

Pri zväčšení zdvihového objemu motora sa nám zvýši aj kompresný pomer. Pri jeho výpočte treba použiť japonský vzorec, ktorý do tohoto výpočtu zahŕňa skutočnosť, že kompresia sa vo valci nezačne, kým nie sú všetky kanály vo valci uzavreté. U dvojdobého motora je posledným zatvoreným kanálom výfukový kanál. Preto ako hodnotu zdvihu pri výpočte uvažujeme výšku hornej hrany výfukového kanála od hornej hrany vložky valca.

$$V_{z\varepsilon} = \frac{\pi \cdot 7,55^2}{4} \cdot 4,7 = \mathbf{210,41 \text{ cm}^3}$$

kde  $V_{z\varepsilon}$  je zdvihový objem pre výpočet kompresného pomeru.

Objem kompresného priestoru som zmeral tzv. olejovou metódou. Pri hornej úvrati piestu a s namontovanou hlavou cez otvor pre sviečku nalieva olej, kým jeho hladina nedosiahne dolnej hrany otvoru pre sviečku. Pri nalievaní je potrebné dbať na precíznosť merania, teda zvoliť nádobu, kde sú jasne viditeľné dieliky, v mojom prípade injekčná stiekačka s objemom  $5 \text{ cm}^3$ .

$$V_k = \mathbf{37 \text{ cm}^3}$$

$$\varepsilon = \frac{V_{z\varepsilon} + V_k}{V_k} = 6,69$$

kde  $V_k$  je objem kompresného priestoru a  $\varepsilon$  je výsledný kompresný pomer

## 4.5 KARBURÁTOR A ZAPAL'OVANIE

### 4.5.1 KARBURÁTOR

Použitie sériového karburátora s priemerom difuzoru 25mm nepripadá do úvahy, zbytočne by motor škrtil. Vhodnou náhradou je použitie univerzálneho motocyklového karburátora priemeru difuzoru 30mm s plochým šúpatkom.



Obr. 26 Karburátor 30mm

Zástavba do auta však nie je jednoduchá, je nutné vyrobiť nové lano plynu, vymyslieť funkčný spôsob ovládania sýtiča s použitím originálneho lanka, v neposlednom rade aj samotná montáž karburátora na motor. Ku karburátoru som si zakúpil aj gumenú prírubu, avšak rozteč dier nebola zhodná s roztečou závrtných skrutiek na príрубе na skrini motora. Existujú dve možnosti, buď prepilovať diery v gumenej príрубе a použitie závrtných skrutiek M8/M6 alebo výroba redukčnej príruby. Zvolil som druhú možnosť, navrhol som prírubu a dal ju vyrobiť.





*Obr. 27 Rekukčná prírubá zmontovaná s gumovou*

So sýtičom som si lámal hlavu dlhšiu dobu. Mojim cieľom bolo ovládať sýtič pomocou originálneho lanka sýtiča z Trabanta. Prvý nápad bol príliš zložitý, nebol dosiahnutý hladký chod lanka, a najmä samotné lanko bolo krátke.



*Obr. 28 Prvé nevydarené riešenie sýtiča*

Druhým riešením, ktoré bolo jednoduchšie, bolo použitie hrdla karburátora z novšieho typu karburátora Trabant, ktoré malo zabudovanú klapku na škrtenie prívodu vzduchu. Toto

riešenie spĺňalo moju požiadavku ponechať pôvodné lanko ale pri teplotách pod 10°C bolo obtiažne studený motor spustiť.



*Obr. 29 Hrdlo karburátora BVF 28 HI-1*

Posledným riešením zatiaľ je kombinácia pôvodného lanka sýtiča a sýtiča zabudovaného v karburátore. Vyrobil som akúsi spojku, ktorá spája pôvodné lanko sýtiča s lankom sýtiča na karburátore. Toto riešenie je z týchto troch zatiaľ najdokonalejšie. Požiadavka ponechať pôvodné lanko je splnená ako aj ľahký a plynulý chod lanka, aj samotná účinnosť sýtiča.



*Obr. 30 Spojka na lanká sýtiča upevnená o prevodovku*

#### 4.5.2 ZAPAĽOVANIE

Nakoľko som zástanca elektronických zapalovaní, používal som v počiatočnej fáze prevádzky motora pôvodné bezkontaktné tranzistorové zapalovanie. Jeho hlavnou nevýhodou je, že neposkytuje žiadnu reguláciu predstihu v závislosti na otáčkach alebo zaťažení motora. Zapalovanie preto poskytuje pevný nemenný predstih pre celé spektrum otáčok.

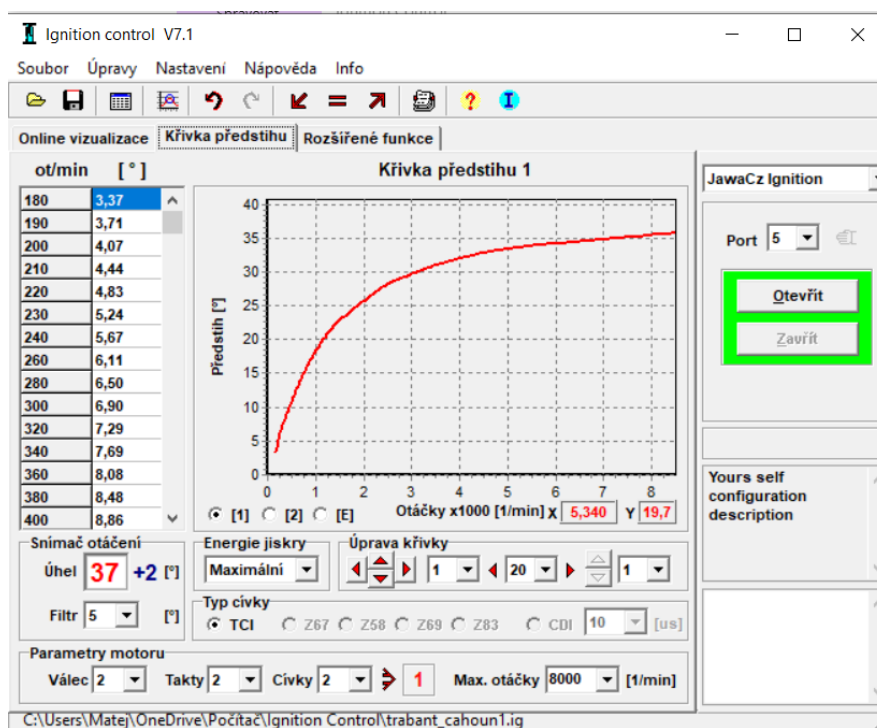


*Obr. 31 Pôvodné bezkontaktné zapalovanie*

Mojim cieľom je použitie bezkontaktného zapalovania s reguláciou predstihu v závislosti na otáčkach motora. Rozhodol som použiť zapalovanie od spoločnosti IMFsoft. Toto zapalovanie je nutné nastavovať s použitím počítača, ideálne laptopu cez aplikáciu, ktorú táto spoločnosť vytvorila. V nej je možné nastaviť si požadovanú krivku zapalovania s maximálnym predstihom podľa nášho uváženia.



Obr. 32 Zapaľovanie IMFsoft



Obr. 33 Aplikácia Ignition control

## 4.6 VÝFUKOVÝ SYSTÉM

Vzhľadom na úpravu výfukových kanálov vo valci by bolo použitie sériového výfukového systému celkom nevhodné. Počítanie výfukového systému a jeho následná výroba by bola časovo, finančne a najmä bez použitia potrebného dielenského vybavenia náročná. Nehľade na absenciu kúrenia, ktoré je súčasťou výfukového systému. Trh s náhradnými dielmi pre upravené motory Trabant ponúka dvojkomorový predný diel výfuku v kombinácii

s výmenníkom tepla pre kúrenie a spojovacou trúbkou medzi predným dielom a zadným dielom výfuku. Zadný diel ostáva sériový.



Obr. 34 Predný dvojkomorový diel výfuku

#### 4.7 ČASOVANIE MOTORA PRED A PO ÚPRAVE

Všetky výpočty boli vykonané v programe MathCad Prime 3.1

Tab. 1 Časovanie motora pred a po úprave

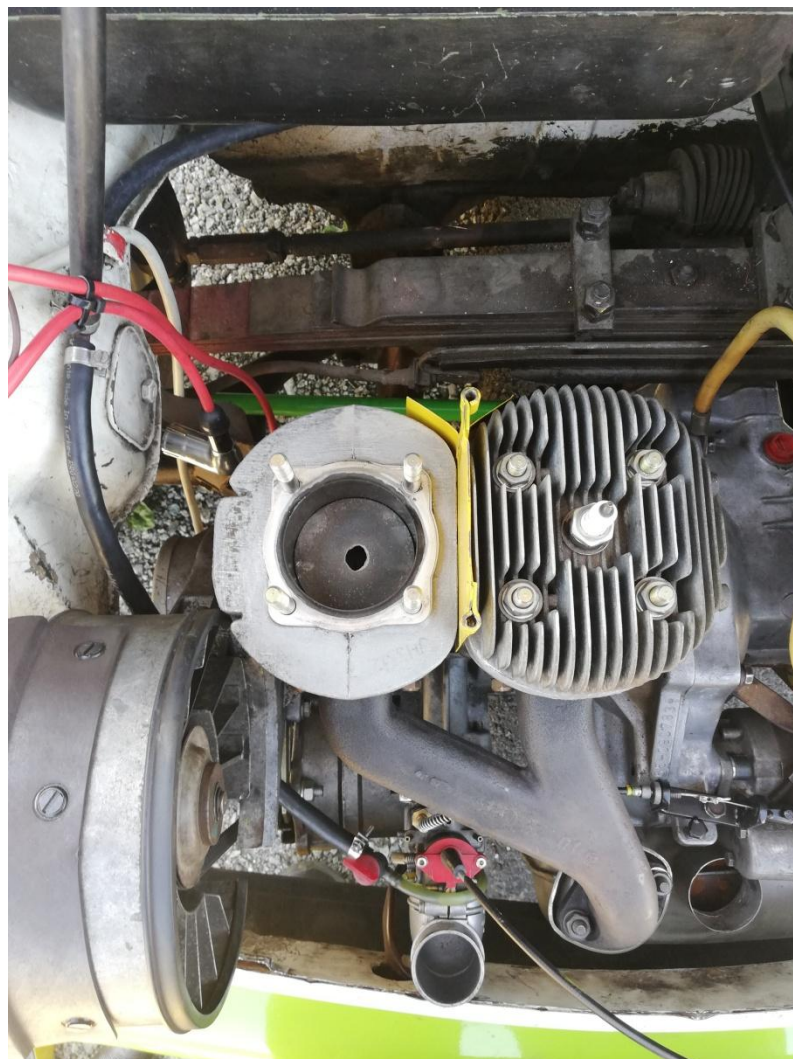
	Pred úpravou	Po úprave
Sanie otvára	135,071° pred HÚ	135,071° pred HÚ
Sanie zatvára	45,086° za HÚ	55,041° za HÚ
Celková doba sania	180,158°	190,113°
Prepúšťanie otvára	125,119° za HÚ	125,119° za HÚ
Prepúšťanie zatvára	125,119° pred HÚ	125,119° pred HÚ
Celková doba prepúšťania	109,762°	109,762°
Výfuk otvára	107,615° za HÚ	99,894° za HÚ
Výfuk zatvára	107,615° pred HÚ	99,894° pred HÚ
Celková doba výfuku	144,77°	160,212°

#### 4.8 NEČAKANÉ ZLYHANIE

Pri použití krivky predstihu zapalovania podľa Obr. 33 došlo pri vyššej záťaži k fatálnemu poškodeniu piestu na druhom valci. Prepálený piest je spôsobený vysokou teplotou spaľovania. Tá je výsledkom kombinácie príliš veľkého predstihu a chudobnej zmesi. Na dne piestu sú viditeľné znaky detonačného horenia, ktoré túto teóriu potvrdzujú. Rovnako je na plášti piesta pár miest kde dochádzalo k pridieraniu (vyleštené plochy). Horný piestny krúžok je zabezpečený. Po rozborke motora môžeme konštatovať, že istú časť viny nesie práve veľký predstih, no asi najväčší podiel na poškodení má chudobná zmes. Zaujímavým javom je, že piest prvého valca nejaví žiadne známky poškodenia. Krúžky sa pohybujú vo svojich drážkach voľne, na dne piestu ani náznak detonačného horenia a na plášti žiadny znak pridierania. Pri demontáži kľukového hriadeľa som si všimol mastné škvrny a na nich nalepené nečistoty v okolí tesniaceho labyrintového krúžku práve druhého valca. Mám za to, že tento labyrintový tesniaci krúžok bol príliš opotrebovaný a preto už nedokázal spoľahlivo utesniť kľukovú skriňu. Po kontrole stavu ložísk kľukového hriadeľa môžeme konštatovať, že neutrpeli žiadne poškodenia. Totiž v kľukovej skrini bolo po prepálení piestu značné množstvo kúskov zliatiny hliníka, ktoré sa mohli dostať na ojnicné ložiská a zablokovat' ich. Po výmene oboch piestov a tesniaceho labyrintového krúžku bude motor opäť schopný prevádzky.



*Obr. 35 Prepálený piest*



*Obr. 36 Motor s prepáleným piestom*

## ZÁVER

Dvojdobé motory zažili v 20. storočí obrovský úspech po celom svete najmä vďaka ich jednoduchej konštrukcii, nízkej poruchovosti a vysokej spoľahlivosti a veľmi dobrej výkonnosti vzhľadom na ich rozmery a hmotnosť v porovnaní so štvordobými motormi. V medzivojnovom období boli výbornou alternatívou štvordobých motorov. Používali sa hlavne v menších a dostupných automobiloch, kde by použitie štvordobého viedlo k nárastu výrobných nákladov, pritom výkonovo boli dvojdobé a štvordobé motory na tom veľmi podobne. V povojnovom období pomohli dvojdobé motory motorizovať značnú časť Východného bloku. V Československu to boli svetoznáme a dodnes vyrábané motocykle JAWA, bývalá NDR prispela aj automobilovou výrobou značiek Wartburg a Trabant, ktoré si svoje dvojdobé agregáty ponechali do konca 80. rokov. V závodných motocykloch sa využívali predovšetkým výkonné dvojdobé motory, ktoré vyhrávali preteky po celom svete. Tieto motory využívali všetky úpravy spomenuté v tomto práci a boli konštruované len na jeden účel- čo najvyšší výkon bez ohľadu na spotrebu a emisie, do úvahy nebrali ani životnosť, nakoľko museli byť repasované buď po každom preteku, alebo maximálne po sezóne.

Zlom nastal v 70. rokoch keď svet postihla ropná kríza, ktorá odštartovala boj za ekológiu, teda znižovanie spotreby a emisií a vyhľadávanie alternatívnych zdrojov energie. Dvojdobé motory sa objavili na „čiernej listine“ a ich ďalší vývoj sa takmer zastavil. Dôvodom boli predovšetkým vysoké emisie zapríčinené spaľovaním oleja a vysoká spotreba paliva. Ich využitie sa zúžilo na použitie, kde ich prevádza nijako výrazne neovplyvňuje emisie vypustené do ovzdušia. Dnes sa dvojdobé motory používajú na pohon malých mopedov a skútrov, väčšinou o zdvihovom objeme do 50 cm<sup>3</sup>, v motocykloch určených pre motokros, v snežných skútroch, pričom v posledných dvoch prípadoch musia dodržiavať určené emisné limity, v záhradnej technike napr. motorové reťazové pily a krovinozrezy.

Úpravou dvojdobých motorov dosiahneme vyšších výkonových parametrov, často aj zvýšenie spotreby paliva aj zníženia životnosti komponentov motora, obzvlášť kľukového mechanizmu. Väčšia sila a tlak pôsobiaca na dno piestu zaťažuje najmä ojnicné ložiská, ktoré sa opotrebovávajú rýchlejšie, a tak pravdepodobnosť ich fatálneho poškodenia vzrastá.

Aplikáciu jednotlivých úprav na motore Trabant sme dosiahli žiadaného výsledku. Došlo k zvýšeniu výkonu v celom spektre otáčok vďaka zvýšenému objemu, ale najvýraznejšie zvýšenie výkonu bolo možné badať v rozmedzí otáčok 3500-5000/min. Ladenie dvojdobého motora je veľmi citlivá a časovo náročná záležitosť. Každá, aj malá zmena nastavenia či už zapalovania alebo karburátora môže ovplyvniť chod motora aj pozitívne, aj negatívne. Tieto nastavenia je vhodné vykonávať na valcovej skúšobni, kde sa každá zmena prejaví vo výslednej momentovej charakteristike. Kľúčovým momentom bola inštalácia bezkontaktného zapalovania s laditeľnou krivkou predstihu. Jej ladenie bohužiaľ nevyšlo podľa mojich predstáv a motor dopadol s prepáleným piestom. Vinu kladiem vysokému predstihu v kombinácii so zle chladeným valcom a možnou chudobnou zmesou karburátora, avšak stav komponentov prvého valca žiadne známky chudobnej zmesi nevykazoval.

Tento neúspech ma však neodradil a v budúcnosti sa budem aj naďalej venovať úpravám dvojdobého motora Trabant, kde budem schopný využiť jednotlivé poznatky a skúsenosti, ktoré som nadobudol v práci na tomto projekte.



## POUŽITÉ INFORMAČNÉ ZDROJE

- [1] *History of internal combustion engine* [online]. , 1 [cit. 2020-01-12]. Dostupné z: <https://www.brighthubengineering.com/machine-design/8250-history-and-development-of-the-lenoir-engine/>
- [2] Wikipedia. : *Dugald Clerk* [online]. poslední revize 12.11.2019 [cit. 2020-01-12]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Dugald\\_Clerk](https://en.wikipedia.org/wiki/Dugald_Clerk)
- [3] Činnost' dvojdobého motoru. In: *Stack Exchange* [online]. [cit. 2020-02-09]. Dostupné z: <https://mechanics.stackexchange.com/tags/two-stroke/info>
- [4] Válce. HUSÁK, Pavel. *Motocykly s dvoudobým motorem: Konstrukce, výpočty a stavba motocyklu*. Brno: Computer Press, 2011, s. 40. ISBN 987-80-251-2280-8.
- [5] Konstrukce pístu. HUSÁK, Pavel. *Motocykly s dvoudobým motorem: Konstrukce, výpočty a stavba motocyklu*. Brno: Computer Press, 2011, s. 46. ISBN 987-80-251-2280-8.
- [6] Detonačné spaľovanie. BELL, A. Graham. *Two-Stroke Performance Tuning*. 2nd edition. Haynes Publishing UK, 1999, s. 15. ISBN 978-18-596-0619-3.
- [7] Antidetonačná štrbina. BELL, A. Graham. *Two-Stroke Performance Tuning*. 2nd edition. Haynes Publishing UK, 1999, s. 15. ISBN 978-18-596-0619-3.
- [8] Excentrický spaľovací priestor. BELL, A. Graham. *Two-Stroke Performance Tuning*. 2nd edition. Haynes Publishing UK, 1999, s. 16. ISBN 978-18-596-0619-3.
- [9] Pričné vyplachovanie. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Scavenging\\_\(engine\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Scavenging_(engine))
- [10] Súprúde vyplachovanie motora Manet 90. *Manet90* [online]. [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <https://manet90.estranky.cz/fotoalbum/fotoalbum-manet/obrazky/motor-manet-m90-v-rezu-----kopie-----kopie.-.html>
- [11] Znárodnenie vratného vyplachovania. BELL, A. Graham. *Two-Stroke Performance Tuning*. 2nd edition. Haynes Publishing UK, 1999, s. 28. ISBN 978-18-596-0619-93.
- [12] ŠLEHOFER, Vlastislav. *Údržba a opravy vozů Trabant 600 a Trabant 601*. Vydání 2. a 3. Praha 1: SNTL- Nakladatelství technické literatury, n.p., 1973, s. 54. ISBN 04-213-73.
- [13] Výpočet časovania. BELL, A. Graham. *Two-Stroke Performance Tuning*. 2nd edition. Haynes Publishing UK, 1999, s. 131. ISBN 978-18-596-0619-93.
- [14] Jazýčkový ventil. In: *High power media* [online]. 2010 [cit. 2020-05-19]. Dostupné z: <https://www.highpowermedia.com/Archive/reed-valves-for-two-stroke-induction>
- [15] Motor s výfukom s expanznou komorou. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-05-19]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Expansion\\_chamber](https://en.wikipedia.org/wiki/Expansion_chamber)

- [16] Úprava tvaru výfukového kanála. BELL, A. Graham. *Two-Stroke Performance Tuning*. 2nd edition. Haynes Publishing UK, 1999, s. 32. ISBN 978-18-596-0619-93.
- [17] Časovanie výfuku. BELL, A. Graham. *Two-Stroke Performance Tuning*. 2nd edition. Haynes Publishing UK, 1999, s. 35. ISBN 978-18-596-0619-93.
- [18] Príklad vyhotovenia tretieho prepúšťacieho (boost) kanála v kombinácii s jazýčkovým ventilom. BELL, A. Graham. *Two-Stroke Performance Tuning*. 2nd edition. Haynes Publishing UK, 1999, s. 48. ISBN 978-18-596-0619-93.

Pozn.: neoznačené obrázky pochádzajú z archívu autora.

## Zoznam Použitých Skratiek a Symbolov

<i>BVF</i>		Berliner Vergaser-Fabrik
<i>C</i>	[mm]	Vzdialenosť hornej hrany piestu od hornej hrany valca
<i>D</i>	[°]	Doba otvorenia kanálu vyjadrená v stupňoch
<i>DÚ</i>		Dolná úvrat'
<i>HÚ</i>		Horná úvrat'
<i>L</i>	[mm]	Dĺžka ojnice- osová vzdialenosť horného a dolného oka ojnice
<i>R</i>	[mm]	Polovičná hodnota zdvihu
<i>V<sub>k</sub></i>	[cm <sup>3</sup> ]	Objem spaľovacieho priestoru
<i>V<sub>z</sub></i>	[cm <sup>3</sup> ]	Zdvihový objem
<i>V<sub>zε</sub></i>	[cm <sup>3</sup> ]	Zdvihový objem pre výpočet kompresného pomeru
<i>X;E</i>	[mm]	Vzdialenosť hornej hrany kanálu od hornej hrany valca
<i>α</i>	[°]	Hodnota natočenia kľukového hriadeľa voči hornej alebo dolnej úvrat'i
<i>ε</i>	[-]	Kompresný pomer

## ZOZNAM PRÍLOH

P1

P2