

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství  
Studijní zaměření: Dopravní a manipulační technika

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Spalovací proces naftového motoru

Autor: **Kateřina KOPELTOVÁ**  
Vedoucí práce: **Doc. Ing. Ladislav NĚMEC, CSc.**

Akademický rok 2016/2017

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Kateřina KOPELTOVÁ**

Osobní číslo: **S14B0158P**

Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**

Studijní obor: **Dopravní a manipulační technika**

Název tématu: **Spalovací proces naftového motoru**

Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Základní požadavky:

Proveďte základní srovnání zážehového a vznětového spalovacího motoru, rozdíly mezi naftou a benzinem z hlediska chemického a fyzikálního, rozdíly v průběhu spalovacího procesu a jejich vliv na účinnost a spotřebu pohonných hmot. Popište spalovací motor jako technické zařízení, které se skládá z jednotlivých systémů, vysvětlete jejich účel a význam pro činnost motoru. Proveďte popis přípravy spalovacího procesu v naftovém motoru, jeho průběh a možnosti jeho optimalizace. Dále popište vznik a význam emisních norem, způsob jejich kontroly a možnosti redukce emisí. V kapitole AdBlue popište význam tohoto systému a detailně jeho funkci.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Úvod
2. Analýza spalovacího procesu u naftového motoru
3. Technické řešení naftového motoru
4. Moderní trendy vývoje naftového motoru
5. Závěr

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Rozsah kvalifikační práce: **30-40 stran A4**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**  
Seznam odborné literatury:

**HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. Příručka strojího inženýra 1. Brno: Computer Press, 1999**

**VLK, F. Stavba motorových vozidel. Brno: nakl. Vlk, 2003**

*Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.*

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Ladislav Němec, CSc.**


Katedra konstruování strojů

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Jan Roubal**

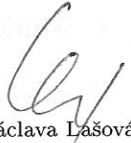
Expert z praxe

Datum zadání bakalářské práce: **19. září 2016**

Termín odevzdání bakalářské práce: **2. června 2017**

  
Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.  
děkan



  
Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.  
vedoucí katedry

## **Prohlášení o autorství**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou/diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou/diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské/diplomové práce.

V Plzni dne: .....

.....

podpis autora

## **Poděkování**

Touto cestou bych ráda poděkovala panu doc. Ing. Ladislavu Němci, CSc. za odborné rady, dohled a za ochotný přístup při tvorbě bakalářské práce. Poděkování také samozřejmě patří panu Ing. Janu Roubalovi za jeho cenné rady a věcné připomínky při konzultacích bakalářské práce.

## ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ (BAKALÁŘSKÉ) PRÁCE

<b>AUTOR</b>	<b>Příjmení</b> Kopelentová	<b>Jméno</b> Kateřina	
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	„Dopravní a manipulační technika“		
<b>VEDOUCÍ PRÁCE</b>	<b>Příjmení (včetně titulů)</b> Doc. Ing. Němec, CSc.	<b>Jméno</b> Ladislav	
<b>PRACOVIŠTĚ</b>	ZČU - FST - KKS		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	<b>Nehodící se škrtněte</b>
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Spalovací proces naftového motoru		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KKS	<b>ROK ODEVZD.</b>	2017
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	66	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	57	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	5
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b> <b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b>	<p>Bakalářská práce se zabývá problematikou spalovacího procesu u vznětového motoru.</p> <p>Teoretická část se zaměřuje na jeho celkový popis a průběh procesu spalování. Práce také popisuje konstrukci a vývoj vznětových motorů. Hlavní část práce se zabývá celým průběhem spalovacího procesu od tvorby směsi až do výfuku.</p> <p>Součástí práce je vývoj procesu spalování a s ním spojené snižování emisí.</p> <p>Konstrukční část se zaměřuje na ventilový rozvod a obsahuje návrh sacího ventilu spolu s příslušnou výkresovou dokumentací.</p>
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b> <b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b>	<p>Motor, uhlovodík, plyn, spalování, hoření, oxidace, nafta, hlava motoru, ventil, pružina, miska, klínek,, účinnost, tlumič, norma, AdBlue</p>

## SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

<b>AUTHOR</b>	<b>Surname</b> Kopelentová	<b>Name</b> Kateřina
<b>FIELD OF STUDY</b>	“Transport and handling machinery“	
<b>SUPERVISOR</b>	<b>Surname (Inclusive of Degrees)</b> Doc. Ing. Němec, CSc.	<b>Name</b> Ladislav
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KKS	
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>BACHELOR</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Delete when not applicable	
	The combustion proces of the diesel engine	

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Machine Design	<b>SUBMITTED IN</b>	2017
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

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

<b>TOTALLY</b>	66	<b>TEXT PART</b>	57	<b>GRAPHICAL PART</b>	5
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

<b>BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	<p>Bachelor thesis deals with the combustion process in a diesel engine. The theoretical part focuses on the general description and the course of the combustion process. The work also describes the design and development of diesel engines.</p> <p>The main part covers the whole combustion process from making the mixture to exhaust.</p> <p>Part of this work is the development of the combustion process and associated emission reductions.</p> <p>Design part focuses on the valve train and includes inlet valve with drawings documentation.</p>
<b>KEY WORDS</b>	Engine, hydrocarbon, gas, combustion, burning, oxidation, diesel, engine head, valve, engine spring, bowl, wedge, efficiency, muffler, norm, AdBlue

## Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Analýza spalovacího procesu v naftovém motoru.....</b>	<b>2</b>
2.1	Uhlovodíkové molekuly .....	2
2.1.1	Automobilový benzín.....	2
2.1.2	Motorová nafta .....	3
2.2	Proces uvolňování tepelné energie .....	4
2.2.1	Ideální tepelný oběh .....	5
2.2.2	Termodynamický tepelný oběh.....	6
2.2.3	Výpočtový tepelný oběh .....	6
2.2.4	Skutečný tepelný oběh .....	6
2.3	Způsob využití získané energie .....	8
2.3.1	Motory s vnějším spalováním .....	8
2.3.2	Motory s vnitřním spalováním .....	10
2.4	Pístové spalovací motory.....	11
2.4.1	Rozdělení podle druhu paliva.....	11
2.4.2	Rozdělení podle způsobu zapálení hořlavé směsi.....	11
2.4.3	Rozdělení podle způsobu činnosti.....	12
2.5	Počátek procesu .....	14
2.5.1	Pomalá oxidace .....	14
2.5.2	Rychlé hoření .....	14
2.5.3	Podmínky pro vyvolání hoření.....	14
2.6	Směšovací poměr.....	15
2.6.1	Stechiometrický poměr.....	15
2.7	Průběh procesu .....	16
2.7.1	Přípravná fáze.....	16
2.7.2	Tvorba směsi .....	17
2.7.3	Spalovací proces.....	17
2.7.4	Hoření směsi.....	18
2.8	Účinnost a možnosti zvyšování výkonu .....	19
2.8.1	Tepelná bilance motoru.....	19
2.8.2	Účinnost .....	23
2.8.3	Možnosti zvyšování výkonu .....	24
2.9	Emisní limity, vznik a důvod.....	25
2.9.1	Výfukové plyny.....	26
2.9.2	Emise škodlivých plynů .....	26



<b>3</b>	<b>Technické řešení naftového spalovacího motoru .....</b>	<b>27</b>
3.1	Konstrukce motoru .....	27
3.1.1	Pístní skupina .....	28
3.1.2	Kliková skupina .....	30
3.1.3	Kliková skříň, blok válců .....	33
3.1.4	Hlava válců.....	33
3.1.5	Rozvodové mechanismy .....	33
3.1.6	Ventily.....	34
3.2	Palivová soustava .....	34
3.2.1	Palivová soustava .....	35
3.2.2	Systém vstřikování paliva .....	36
3.3	Výfukový systém.....	40
3.3.1	Konstrukce výfukového systému .....	41
3.3.2	Sběrné potrubí .....	41
3.3.3	Spojovací potrubí .....	42
3.3.4	Tlumiče hluku .....	42
3.4	Využití vznětových motorů .....	44
3.5	Konstrukční řešení výrobní komponenty naftového motoru.....	45
3.5.1	Návrh části ventilového rozvodu .....	45
3.5.2	Parametry potřebné k výpočtu .....	45
3.5.3	Výpočty .....	45
<b>4</b>	<b>Další vývoje naftového spalovacího motoru .....</b>	<b>50</b>
4.1	Snížování emisí u naftového motoru .....	50
4.1.1	Aktivní prostředky .....	50
4.1.2	Pasivní prvky.....	51
4.2	AdBlue.....	52
<b>5</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>53</b>
<b>6</b>	<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>54</b>
6.1	Knižní publikace.....	54
6.2	Publikace na internetu .....	54
<b>7</b>	<b>Seznam příloh.....</b>	<b>56</b>
7.1	Tištěné přílohy.....	56
7.2	Elektronické přílohy na CD .....	56

## Seznam obrázků

Obrázek 1. Typická destilační křivka motorové nafty – převzato z [1] .....	4
Obrázek 2. P-V a T-S diagram Carnotova cyklu - převzato z [4] .....	5
Obrázek 3. Ideální oběh - převzato z [6] .....	7
Obrázek 4. Skutečný oběh - převzato z [6] .....	7
Obrázek 5. Porovnání ideálního a skutečného oběhu - převzato z [6] .....	8
Obrázek 6. Stirlingův motor - modifikace alfa- převzato z [8] .....	9
Obrázek 7. Stirlingův motor - modifikace beta- převzato z [8] .....	9
Obrázek 8. Stirlingův motor - modifikace gama- převzato z [8] .....	9
Obrázek 9. Porovnání pracovního oběhu zážehového(vlevo) a vznětového motoru(vpravo) - převzato z [16] .....	12
Obrázek 10. Pracovní fáze dvoudobého motoru- převzato z [13].....	13
Obrázek 11. Pracovní fáze čtyřdobého motoru - převzato z [13].....	13
Obrázek 12. Směšovací poměr - převzato z [22] .....	16
Obrázek 13. Vznícení paliva ve válci - převzato z [23] .....	18
Obrázek 14. Fronta plamene u laminárního (nahore) a turbulentního (dole) spalování - převzato z [17].....	19
Obrázek 15. Procentuální vyjádření složek tepelné bilance - převzato z [20] .....	22
Obrázek 16. Sankeyův diagram- převzato z [5] .....	22
Obrázek 17. Závislost mechanické účinnosti na výkonu motoru (vlevo) na otáčkách (vpravo) - převzato z [1].....	24
Obrázek 18. Porovnání různých metod přepřínování s nepřepřínovaným motorem - převzato z [5].....	25
Obrázek 19. Složení výfukových plynů - převzato z [19].....	26
Obrázek 20. Porovnání norem Euro 1 - Euro 6 - převzato z [18] .....	27
Obrázek 21. Pístní skupina - převzato z [26] .....	28
Obrázek 22. Konstrukční provedení pístu - převzato z [2] .....	29
Obrázek 23. Konstrukční provedení pístních zámků – převzato z [2] .....	30
Obrázek 24. Druhy pístních čepů - převzato z [28].....	30
Obrázek 25. Ojnic - převzato z [30] .....	31
Obrázek 26. Klikový hřídel - převzato z [31].....	32
Obrázek 27. Rozvody – převzato z [32].....	34
Obrázek 28. Části ventilu – převzato z [5] .....	34
Obrázek 29. Palivová soustava [2] .....	36
Obrázek 30. Čtvrtá generace common rail [2] .....	40
Obrázek 31. Výfukový systém - převzato z: [33].....	41
Obrázek 32. Nerezové sběrné potrubí [34] Obrázek 33 Sběrné potrubí ze šedé litiny [34] .....	42
Obrázek 34. Absorpční tlumič - převzato z [5] .....	43
Obrázek 35. Reflexní tlumič převzato z [22] .....	43
Obrázek 36. Rezonanční tlumič - převzato z [22].....	43
Obrázek 37. Kombinovaný tlumič - převzato z [22].....	44
Obrázek 38. Navrhovaný ventil.....	46
Obrázek 39. Navržená pružina .....	48
Obrázek 40. Navržená opěrná miska pružiny.....	48
Obrázek 41. Navržená kuželka pro upevnění ventilu.....	49
Obrázek 42. Navrhované umístění ventilové soustavy v hlavě motoru .....	49
Obrázek 43. Konstrukce a proces katalytického konvertoru - převzato z [2] .....	51
Obrázek 44. Selektivní katalytická redukce [2] .....	52

## Seznam tabulek

Tabulka 1. Stechiometrický poměr vzduchu a paliva (hmotnostní zlomek) [2] .....	15
Tabulka 2. Teplotní bilance spalovací motorů [5].....	23
Tabulka 3. Množství povolených škodlivin ve výfukových plynech [17] .....	27

# 1 Úvod

Od vynálezu spalovacího motoru uplynulo přibližně 130 let. To byl ještě spalovací motor zážehový, tedy tepelný stroj, který využívá ke své činnosti benzin. Vznětový spalovací motor, který je hlavním tématem mojí bakalářské práce, pracuje na stejném mechanickém principu jako zážehový. Uvedl ho úspěšně do chodu až o několik let později německý vynálezce Rudolf Diesel. Pro svůj pokus použil těžší frakci zemního oleje, naftu. Jako princip spalovacího procesu zvolil její vstřikování do silně stlačeného, tedy rovněž silně zahřátého vzduchu, ve kterém dojde při zahájení spalovacího procesu k jejímu samovznícení. Dnes už víme, že vznětový motor bude vždy pracovat na základě fyzikálního principu, který je nazýván Carnotův cyklus. Tedy s vyšší účinností než motor zážehový. Vznětový motor také pro svoji činnost využívá vyšší kompresní tlak, a proto je robustnější než motor zážehový, což bylo také dříve jeho hlavní nevýhodou.

Od svých počátků v praktickém využívání sloužil takřka výhradně v nákladních automobilech, stavebních strojích nebo jako stabilní zdroj točivého momentu. V řadě případů dokonce ve dvoutaktním provedení a k tomu někdy ještě vybaven výfukovými ventily. Myslím proto, že po strojnické stránce byla jeho konstrukce již od počátku zajímavější a technicky náročnější. Jako příklad může posloužit zařízení na vstřikování nafty, kde bylo nutné využívat při jeho výrobě technologii pro dosažení tehdy nejvyšší možné přesnosti.

K zásadní změně v jeho využívání došlo v průběhu osmdesátých let minulého století. Jedním z důvodů byl od počátku, a stále platný, fakt, že vznětový motor k dosažení stejného výkonu při stejném obsahu válců spotřebuje méně paliva. Tehdy se také začaly šířit fámy o brzkém vyčerpání ropných zdrojů a další. Ty měly za následek vznik tlaku na výrobce vozidel, aby vyráběli vozidla s nižší spotřebou. Technologie strojírenské výroby rovněž výrazně pokročily, a tak si v současné době můžeme zakoupit osobní vozidlo i té nejnižší třídy se spalovacím vznětovým motorem. Samozřejmě, že pohon nákladních, stavebních a jiných pracovních strojů zůstal vyhrazen naftovým motorům, což je naší veřejnosti málo známé. Také pohon největších zaoceánských lodí a generátorů elektráren v zemích, kde mají naftu lacinou, patří naftovým motorům.

Konstrukce a výroba spalovacích motorů však není ovlivňována jen požadavky uživatelů automobilů. Požaduje se neustálý vývoj a inovace spalovacích motorů, který je velmi nákladný. Motor musí splňovat řadu předpisů dané země, ve které bude provozován. Jedná se o ekologické limity, emisní limity a limity hlučnosti. Motor musí být navržen konstrukčně tak, aby měl vysoký výkon, spolehlivost a trvanlivost, a zároveň aby byly nízké náklady na jeho výrobu a údržbu.

Cílem mojí práce je analyzovat konstrukci vznětového motoru na základě dostupných zdrojů a v praktické části popsat a navrhnout části rozvodů motoru. Teoretická část je zaměřena na porovnání jednotlivých druhů spalovacích motorů, představení konstrukčních řešení, detailní popis spalovacího procesu a popis důležitých součástí a systémů vznětového motoru. V praktické části je zpracováno konstrukční řešení jednotlivých částí rozvodů v daném vznětovém motoru.

## 2 Analýza spalovacího procesu v naftovém motoru

Tato kapitola se bude zabývat spalovacím procesem, který probíhá u naftového motoru. Detailněji bude popsáno uvolňování tepla, které vzniká při spalovacím procesu a využití tohoto tepla. Další částí této kapitoly bude téma účinnost naftového motoru, faktory, které ji ovlivňují a čím se dá zvýšit. Spalovací proces bude prozkoumán i z hlediska paliva, které dodává energii celému systému. Z čeho se paliva skládají a jak se vyrábí, je popsáno v následující kapitole.

### 2.1 Uhlovodíkové molekuly

Kapalná uhlovodíková paliva mají nejrozšířenější použití. Uhlovodíky jsou sloučeniny vodíku a uhlíku. Atomy těchto prvků dokážou vytvořit několik tisíc různých sloučenin. Mnoho z těchto sloučenin jsou vhodnými složkami paliv, které využíváme v oxidačních procesech k získání tepelné energie. Uhlík má relativní atomovou hmotnost 12 a je čtyřvazný. To znamená, že jeden atom je schopný na sebe navázat další čtyři atomy. Vodík má relativní atomovou hmotnost 1 a je jednovazný. Nejjednodušší sloučeninou těchto prvků je metan ( $\text{CH}_4$ ), který obsahuje jeden uhlík, na který jsou navázané 4 molekuly vodíku. Atomy uhlíku se mohou vázat nejenom s jinými molekulami prvků ale i sami se sebou. Vazby mezi atomy uhlíku nemusejí být pouze jednoduché, mohou být i dvojně a trojně. Nejznámější sloučeninou s dvojnou vazbou je etylen ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ) a s trojnou vazbou acetylen ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ). V praxi se využívá například Izooktan ( $\text{C}_8\text{H}_{18}$ ). Jeho základem je izobuten, který je rozvětvený. Používá se ke zkoušení tzv. oktanového čísla.

Uhlovodíkové molekuly jsou základními stavebními prvky ropy, ze které se poté následně vyrábí automobilový benzín a motorová nafta.

#### 2.1.1 Automobilový benzín

Automobilový benzín se vyrábí frakcí ropy s destilací v rozmezí teplot  $30\text{ }^\circ\text{C}$  –  $210\text{ }^\circ\text{C}$ . Obsahuje tedy pouze uhlovodíky v rozmezí 4 - 10 atomů uhlíku. Může obsahovat stopové prvky uhlovodíků do třinácti uhlíků. Benzín vyrobený pouze frakcí nesplňuje požadavky pro jeho použití v automobilovém průmyslu. Mezi požadavky na automobilový benzín použitelný v praxi patří například dobrá odpařitelnost při nízkých teplotách, která zajišťuje dobrou startovatelnost. Musí mít malý obsah síry, který způsobuje pokles oktanového čísla, korozi palivového systému a zvyšuje škodliviny ve výfukových plynech. Nesmí obsahovat pryskyřici, která způsobuje zanesení trysek a usazuje se na sacím ventilu a v sacím potrubí. Musí mít dobré antidetonační vlastnosti.

Antidetonační vlastnost je schopnost benzínu proti detonačnímu hoření. Detonační hoření je blíže popsáno v následujícím odstavci. Antidetonační vlastnosti charakterizuje oktanové číslo. Oktanové číslo vyjadřuje podíl izooktanu a n-heptanu. Izooktan odpovídá oktanovému číslu 100. N-heptan má oktanové číslo 0. Například palivo Natural 95 má již v názvu své oktanové číslo 95. To znamená, že palivo je odolné proti samovznícení jako směs z 95 % oktanu a 5 % heptanu. Současně u motorů je vyžadováno oktanové číslo minimálně 90. Zvýšení oktanového čísla se provádí izomerací lehkých benzínů nebo u těžkých benzínů jejich reformováním. U upravených benzínů může být oktanové číslo vyšší, než je hodnota 100. Palivo s oktanovým číslem vyšším než 100 je odolnější proti samozápalu než izooktan. Dříve se jako antidetonátor používalo olovo. Olovo je jedovatá látka, která se nespalovala a poškozovala katalytický konvertor. Od 1.1.1996 je zakázané. Dnes se používají methyltercbutylether (MTBE), tercamaylmethylether (TAME) nebo ethyltercbutylether (ETBE). [2]

Antidetonační vlastnosti snižují riziko vzniku detonačního spalování. K tomu dochází při místním vzplanutí části směsi paliva se vzduchem. To vyvolá tlakovou vlnu, která se šíří rychlostí zvuku spalovacím prostorem. Vlna při dopadu na dno pístu a stěnu spalovacího prostoru vyvolává rázy. Projeví se to hlukem, tzv. „klepání motoru“. Dochází ke zvyšování hustoty spalin u stěn a tím i k zvýšení prostupu tepla do stěn. Následek je přehřívání a snížení výkonu motoru. Dlouhodobý provoz motoru při detonačním hoření může způsobit jeho destrukci.

Benzín můžeme upravovat reformováním, katalytickým krakováním, izomerací, alkylací a dalšími procesy. Reformování je proces, při kterém se přeměňují uhlovodíky s malým oktánovým číslem na vysokooktanové aromáty. Tímto procesem můžeme dosáhnout výroby benzínu s oktánovým číslem vyšší než 100 jednotek, což zajistí antidetonační vlastnosti. Při krakování se parafíny s přímým řetězcem tepelně štěpí při teplotách nad 500 °C s pomocí katalyzátoru. Katalytickým krakováním získáváme více výtěžku z benzínu s dobrým oktánovým číslem. Izomerace je proces, při kterém vznikají rozvětvené izomery s velkým oktánovým číslem z n-alkanů s pěti a šesti uhlíky. Alkylace se používá ke zvýšení oktánového čísla benzínu při destilaci okolo 100 °C. Její podstatou je syntéza vysokooktanových izo-alkanů. Tato technologie je nejdražší ze všech uvedených.

Benzín se snadno odpařuje. Jeho směs lze zažehnout i při nízkých teplotách a tlaku, poměrně malou jiskrou. Při teplotách okolo 450 °C dochází ke spontánnímu vznícení směsi. [1]

Dalším palivem pro spalovací motory je nafta, jejíž výroba a vlastnosti jsou popsány v následující kapitole.

### 2.1.2 Motorová nafta

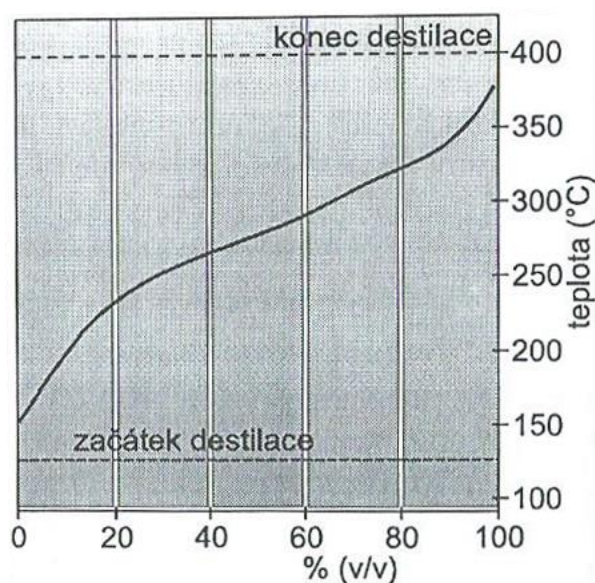
Motorová nafta má destilační rozmezí 150 °C – 360 °C. Obsahuje převážně uhlovodíky s 10 - 22 uhlíky. Nafta se poměrně špatně odpařuje a její směs par se vzduchem jde zažehnout až při teplotách nad 60 °C. Ke vznícení může dojít při teplotách okolo 300 °C. Vyrábí se mísením dvou složek. První složka je petrolej destilující od 160 °C do 260 °C. Druhou složkou je plynový olej s rozmezím destilace 250 °C – 360 °C. Obě frakce obsahují velké množství sirných sloučenin. Síra reaguje s kyslíkem a vzniká oxid siřičitý (SO<sub>2</sub>), který je škodlivý pro životní prostředí. Obsah síry v motorové naftě nesmí být větší než 10 mg/kg. Tato hodnota je daná zákonem. Proto se provádí hydrogenizační odsíření, při němž dochází k odstranění i stopového množství kyslíku a dusíku.

Petrolej má velice nízkou teplotu tuhnutí pod -50 °C. Naopak plynový olej má bod tuhnutí okolo 0 °C. Rozlišujeme dva druhy nafty – letní a zimní. Letní se skládá převážně z plynového oleje, naopak zimní musí obsahovat převážně petrolejovou frakci.

Pro rozlišení těchto dvou druhů se začal objevovat tzv. bod zákalu. To je teplota, při které se začnou vytvářet první krystalky pevných parafínů. Krystalky při této teplotě jsou malé a nebrání průchodu paliva čistícími filtry. Problémy s průchodností mohou nastat pod tzv. bodem filtrovatelnosti, který označuje teplotu, při které ještě nafta prochází přes síto s přesně danou velikostí ok. Při teplotách nižších vznikají krystaly parafínů tak velké, že mohou ucpat sítko vstřikovacího čerpadla. Ucpání vstřikovacího čerpadla může dojít i při dlouhodobém stání, kdy teploty dosahují hodnot okolo bodu filtrovatelnosti. Zimní moto-

rová nafta na našem trhu má bod zákalu pod  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$  a filtrovatelnost pod  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Vyrábí se i tzv. arktická nafta. Ta zajišťuje bezporuchovost za silných mrazů. Má bod filtrovatelnosti nižší než  $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$  a bod zákalu pod  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Kvalita nafty se označuje tzv. Cetanovým číslem. Je označované značkou CN nebo CČ. Udává množství cetanu (n-hexadekanu) v objemových procentech ve směsi s aromatickým uhlovodíkem (1-methylnaftalenem). Ten má stejnou vznětovou vlastnost jako skutečný vzorek nafty. Cetanové číslo 0 odpovídá čistému metylnaftalenu, cetanové číslo 100 odpovídá čistému cetanu. Čím vyšší cetanové číslo, tím rychleji se vznítí palivo po vstříknutí do válce. Motor má vyšší výkon, tišší spalování, lépe startuje, má méně zplodin hoření a klesá spotřeba pohonných hmot. U nafty je vyžadované minimální cetanové číslo 51. Běžně na trhu se vyskytuje nafta s cetanovým číslem mezi 51 - 55. Cetanové číslo se pořád zvyšuje, dnes už je ve světě běžná nafta s číslem v rozmezí 58 - 65.



Obrázek 1 Typická destilační křivka motorové nafty – převzato z [1]

Obě paliva, benzín i nafta, se využívají ve spalovacích motorech. Jsou využívána k přeměně tepelné energie na mechanickou práci. Podrobně jsou procesy uvolňování energie popsány v kapitole 2.2.

## 2.2 Proces uvolňování tepelné energie

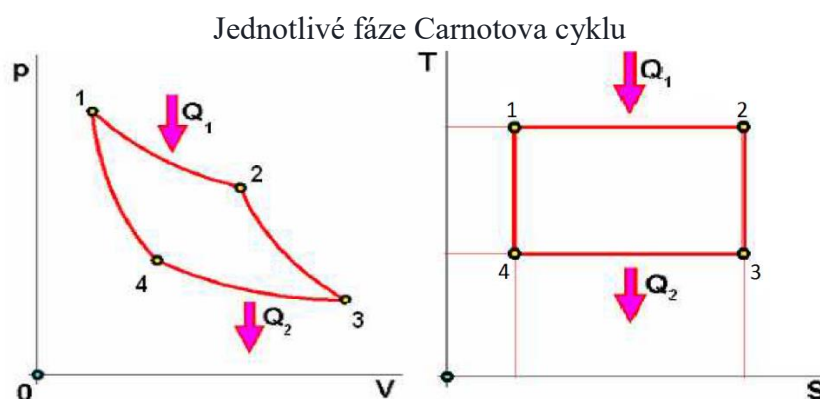
Přeměna tepelné energie na mechanickou práci ve spalovacích motorech probíhá za složitých termodynamických a fyzikálně-chemických procesů. Získávání energie je periodický děj, který popisuje tepelný oběh.

Rozlišujeme 4 tepelné oběhy:

1. Ideální
2. Termodynamické
3. Výpočtové
4. Skutečné

### 2.2.1 Ideální tepelný oběh

Ideální tepelný oběh je označován také jako Carnotův cyklus. Jedná se o ideální vratný oběh, který je tvořen dvěma izotermami a dvěma adiabatami. Je to nejvíce zjednodušený pracovní oběh. Zahrnuje v sobě pouze ztráty, které jsou dané druhou větou termodynamiky. Ta vyjadřuje, že teplo samovolně nemůže přecházet ze systému o nižší teplotě na systém o vyšší teplotě. [5]



Obrázek 2. P-V a T-S diagram Carnotova cyklu - převzato z [4]

**Carnotův cyklus se skládá ze 4 fází [11]:**

#### 1. Izotermická expanze

Počáteční stav plynu je určen objemem  $V_1$ , teplotou  $T_1$  a tlakem  $p_1$ . Z okolí je dodáváno teplo  $Q_1$ . Díky němuž se začne plyn izotermicky rozpínat a vykoná práci  $W_{12}$ . Vztah mezi teplem a prací můžeme zapsat jako  $W_{12} = -Q_1$ . Na konci fáze je plyn určen objemem  $V_2$ , teplotou  $T_2$  a tlakem  $p_2$ . Z grafu je vidět, že  $p_1 > p_2$  a  $V_1 < V_2$ . [11]

#### 2. Adiabatická expanze

Na izotermickou expanzi navazuje adiabatická expanze. Počáteční stav je dán veličinami konečného stavu izotermické expanze, objemem  $V_2$ , teplotou  $T_2$  a tlakem  $p_2$ . Při této fázi nedochází k výměně tepla s okolím. K vykonávání práce dochází využitím vnitřní energie. Můžeme to vyjádřit  $W_{23} = U_2 - U_3$ . Využitím energie dojde k jejímu snížení, a následkem toho k snížení teploty plynu. Konečný stav je určen objemem  $V_3$ , teplotou  $T_3$  a tlakem  $p_3$ . Změna veličin  $p_2 > p_3$ ,  $T_3 < T_2$ ,  $V_2 < V_3$

#### 3. Izotermická komprese

Na adiabatickou expanzi navazuje izotermická komprese. Počáteční stav je dán veličinami konečného stavu adiabatické expanze, objemem  $V_3$ , teplotou  $T_3$  a tlakem  $p_3$ . Stlačováním plynu dojde k vytváření práce. Ta je odevzdávána do okolí ve formě tepla. Vztah mezi teplem a prací můžeme zapsat  $W_{34} = -Q_3$ . Konečný stav je určen objemem  $V_4$ , teplotou  $T_4$  a tlakem  $p_4$ . Změna veličin  $p_4 > p_3$ ,  $V_4 < V_3$



#### 4. *Adiabatická komprese*

Na izotermickou kompresi navazuje Adiabatická komprese. Počáteční stav je dán veličinami konečného stavu izotermické komprese, objemem  $V_4$ , teplotou  $T_4$  a tlakem  $p_4$ . Stlačováním plynu dochází při tepelné izolaci. To znamená, že nedochází k výměně tepla. Dodávaná práce stlačováním plynu je využívána na zvýšení energie. Můžeme to vyjádřit  $W_{41}=U_4-U_1$ . Carnotův cyklus je uzavřený děj. Z toho vyplývá, že konečné veličiny adiabatické komprese musí odpovídat počátečním hodnotám izotermické expanze.

Takto probíhající cyklus představuje ideální tepelný stroj, který vykonává práci. Část tepla je přeměňována na mechanickou práci a část je odevzdávána chladiči. Při opačném chodu dostaneme ideální chladicí systém.

Celkovou vykonanou práci  $W$  můžeme pospat vztahem [1]:

$$W = W_{12} + W_{23} + W_{34} + W_{41} \quad (1)$$

Při izotermické expanzi se vnitřní energie nemění. Z toho vyplývá že:

$$U_1 = U_2 \quad (2)$$

Stejně jako při izotermické expanzi, tak i při izotermické kompresi nedochází ke změně vnitřní energie. Z toho vyplývá že:

$$U_3 = U_4 \quad (3)$$

Za těchto předpokladů platí že:

$$W_{23} + W_{41} = 0 \quad (4)$$

Původní rovnici můžeme upravit do tvaru:

$$W = W_{12} + W_{34} \quad (5)$$

To lze zapsat jako:

$$W = Q_1 + Q_3 \quad (6)$$

To znamená, že vykonaná práce v Carnotově cyklu se rovná rozdílu přijatého a odevzdaného tepla.

### 2.2.2 Termodynamický tepelný oběh

Je to oběh, při kterém jsou zanedbané všechny ztráty s výjimkou odvodu tepla do chladiče. Obsahuje libovolný počet izochorických, adiabatických, polytropických a izobarických dějů, které jsou v libovolném pořadí. Tepelná účinnost je nižší než u Carnotova cyklu, ale je větší než u reálného motoru. [5]

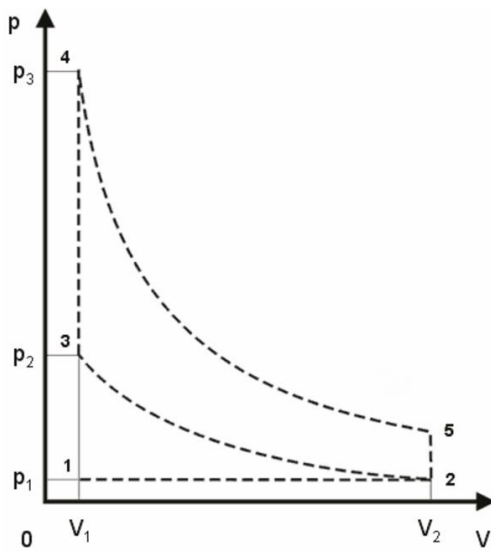
### 2.2.3 Výpočtový tepelný oběh

Je základ matematického modelu. Proto zohledňuje všechny ztráty, jako jsou například změna měrných teplot, výměna tepla s okolím nebo změny chemického složení paliva. [5]

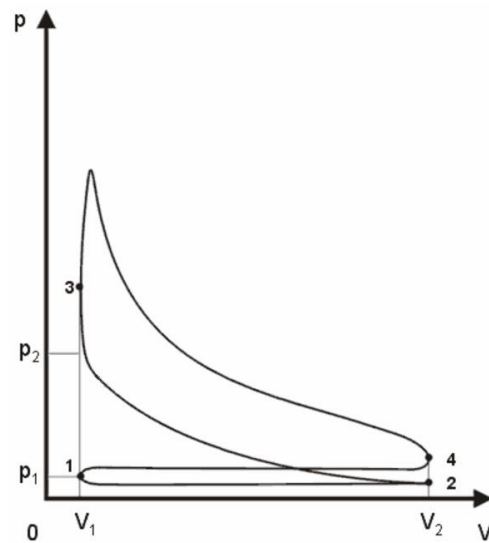
### 2.2.4 Skutečný tepelný oběh

U skutečného oběhu se pracuje s reálnou náplní. Její chemické složení se v průběhu procesu mění. Rozvoj tepla se uskutečňuje spalováním paliva. K tomu dochází při složitých

fyzikálně-chemických přeměnách. K výměně tepla dochází mezi okolím a pracovní náplní. S teplotou a chemickým složením se mění měrné teplo náplně. Píst se pohybuje se třením, pracovní náplň se vyměňuje, změny probíhají konečnou rychlostí. [21]



Obrázek 3. Ideální oběh - převzato z [6]



Obrázek 4. Skutečný oběh - převzato z [6]

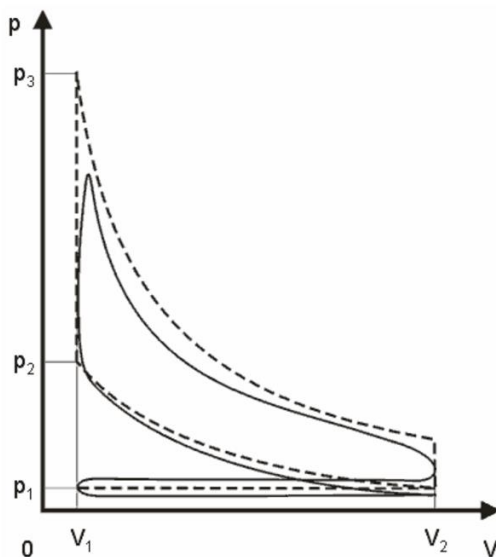
Rozdíly mezi skutečným a ideálním oběhem:

Expanze a komprese nejsou adiabatické, ale jsou polytropické.

Zvýšení tlaku při vznícení směsi není izochorické, protože spalování směsi není dokonalé a trvá určitou dobu. [6]

Odchýlení od ideálního oběhu je způsobené:

- vstupem tepla mezi okolím a směsí
- změnami vlastností směsi
- únikem pracovní směsi z válce
- konečnou rychlostí spalování
- odpařováním paliva při kompresi [5]



Obrázek 5 Porovnání ideálního a skutečného oběhu - převzato z [6]

Jak již bylo zmíněno, přeměnu tepelné energie na mechanickou lze popsat pomocí tepelných oběhů, při nichž dochází k uvolňování tepelné energie za izotermické komprese. Takto získané teplo lze využívat různými způsoby, které jsou popsány v následující kapitole.

### 2.3 Způsob využití získané energie

Spalovací motor je tepelný stroj, který přeměňuje tepelnou energii na mechanickou práci. Tepelná energie vzniká chemickou reakcí paliva. V dnešní době je spalovací motor nejpoužívanější tepelný stroj. Používá se jako pohon pro jiné stroje. Uplatňuje se převážně v dopravních a mechanizačních prostředcích. [5]

Najdeme ho například u automobilů, stavebních a zemědělských strojů, letadel, ale i u ponorek a lokomotiv. Používají se také jako nouzové generátory elektrického napětí. Spalovací motor můžeme rozdělit podle druhu spalování na motory s vnějším a vnitřním spalováním.

#### 2.3.1 Motory s vnějším spalováním

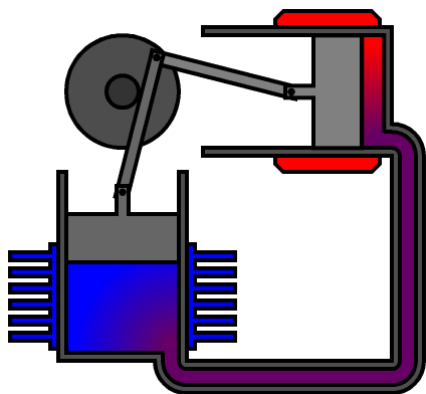
Tento motor je tepelný stroj, ve kterém probíhá spalování paliva mimo motor. Získává tím tlakovou energii plynu, kterou využívá na vykonávání práce. Pracovní látka se ohřívá ve výměníku. Tyto motory jsou méně závislé na kvalitě použitého paliva. Do motorů s vnějším spalováním patří například parní stroj a Stirlingův motor.

##### Parní stroj

Parní stroj vynalezl v roce 1765 James Watt. Byl založen na principu kondenzace páry ve válci a využíval sílu získanou na základě podtlaku k čerpání vody. Tato myšlenka byla dále zdokonalována až se v 19. století stal parní stroj nejvýznamnějším zdrojem energie. Proto se také označuje jako století páry. V dnešní době má parní stroj malé využití. Jeho účinnost je pouze do 12 %. Nahradil ho spalovací motor a spalovací turbína. Spalovací motor má účinnost okolo 25 %. Pokud se jedná o přeplňovaný motor s turbokompresorem, dosahuje účinnosti až 35 %. Nejúčinnější je spalovací turbína, jejíž účinnost může dosahovat přes 50 %. [24]

## Stirlingův motor

Stirlingův motor byl vynalezen jako konkurence parního stroje v roce 1816. Dosahoval větší účinnosti než parní stroj. Je schopen dosáhnout účinnosti až 40 %. Funguje na principu roztažnosti plynu. Plyn se roztahuje, když je zahříván a snižuje svůj objem, když je ochlazován. Jedná se o uzavřený pracovní cyklus, ve kterém je s okolím vyměňována pouze tepelná energie. Skládá se ze dvou pístů, které se pohybují v jednom nebo dvou válcích. Složení záleží na modifikaci. Existují 3 modifikace: alfa, beta a gama.



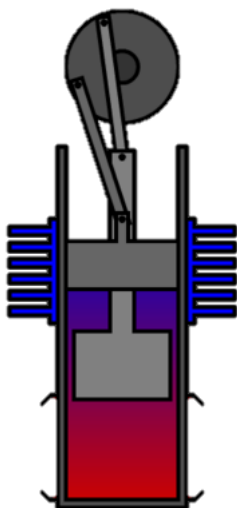
Obrázek 6. Stirlingův motor - modifikace alfa - převzato z [8]

**Modifikace alfa** obsahuje dva písty, každý má svůj válec. Jeden je teplý a druhý studený. Plyn se přesouvá ze studeného válce do teplého a naopak. Písty jsou poháněné klikovým mechanismem. Ke správnému chodu potřebuje velký rozdíl teplot. Modifikace alfa je nejpoužívanější v praxi.

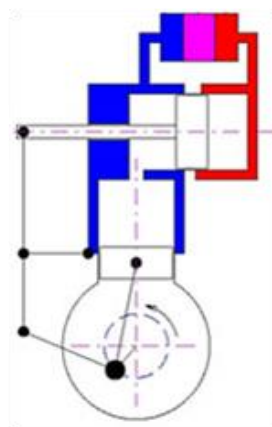
**Modifikace beta** obsahuje jeden válec, ve kterém jsou dva písty. Válec je na jedné straně ohříván a na druhé chlazen. Tato modifikace obsahuje přeháněcí píst a pracovní píst. Přeháněcí píst má vůli mezi stěnou válce a pístem, je delší oproti pracovnímu pístu. Ten je naopak utěsněný. Tyto dva písty jsou spojeny klikovým mechanismem, který způsobí opoždění pístu o čtvrt otáčky.

Aby nevznikal tzv. mrtvý bod obsahuje Stirlingův motor setrvačnick, který zajistí plynulý chod motoru. V praxi se moc nepoužívá.

**Modifikace gama** pracuje na stejném principu jako beta. Pouze pracovní píst je umístěn ve vlastním válci. Důsledkem toho je, že plyn se může volně pohybovat mezi oběma válci.



Obrázek 7. Stirlingův motor - modifikace beta - převzato z [8]



Obrázek 8. Stirlingův motor - modifikace gama - převzato z [8]

### 2.3.2 Motory s vnitřním spalováním

Takový motor je tepelný stroj, ve kterém probíhá spalování paliva přímo v prostoru motoru. Spalování probíhá za vysokých tlaků a teplot. Ty jsou potřebné k dosažení dané účinnosti. Podle druhu přeměny mechanické energie rozlišujeme motory **pístové a reakční**. Více se pístovým spalovacím motorům budeme věnovat v kapitole 2.4. Na principu akce a reakce fungují reakční motory. Urychlují spaliny a vzduch jedním směrem. Důsledkem toho vzniká reakční síla v opačném směru. U lopatkových reakčních motorů probíhá spalování za konstantního tlaku. Mezi reakční motory patří například pulzační motor, raketový motor nebo spalovací turbína. [9]

#### Reakční motory

##### ➤ Pulzační motor

Pulzační motory vznikly pro pohon rotoru vrtulníku. Dnes nejsou už tolik využívány. Důvodem je nízký výkon při vysoké spotřebě paliva. Tento motor je schopen pracovat i při nulové rychlosti. Pracuje ve dvou fázích, které se opakují. Při otevření ventilu dochází k nasávání vzduchu do spalovacího prostoru. Tam je do něj vstříkováno palivo. Dojde k zapálení směsi. Tím vznikne přetlak, který uzavře ventil. Plyny vystupují tryskou ven a vytvoří se podtlak, který otevře ventil. Cyklus se opakuje. Motor takto pulzuje. [9]

##### ➤ Raketový motor

Raketový motor ke své činnosti nepotřebuje atmosférický kyslík. Je schopný fungovat i mimo atmosféru. Může být na tuhá nebo kapalná paliva. Dosahuje obrovských výkonů, ale pouze na krátkou dobu. Využívají se v řízených a neřízených střelách.

Motor poháněný tuhými pohonnými hmotami je jednodušší. Tvoří ho spalovací komora a hnací tryska. Spalovací komora je naplněna tuhým palivem, které postupně odhořívá. Pokud je palivo zažehnuo, už se nedá zastavit. Nedá se regulovat výkon. Je využíván například jako startovací raketa u raketoplánů.

Motor poháněný kapalnými pohonnými hmotami je účinnější a výkonnější. Skládá se ze dvou nádrží. Jedna je na palivo a druhá na okysličovadlo. Palivo s okysličovadlem je vhnáno do spalovací komory pomocí čerpadla. Kvůli tomu je konstrukce motoru složitější. Výkon lze regulovat. Je možné motor spustit a zase zastavit. Používají se pro pokusné letouny a velké rakety s hmotností mnoha tun. [10]

##### ➤ Spalovací turbína

Spalovací turbína může být jednohřídelová nebo dvouhřídelová. Spalování paliva probíhá ve spalovací komoře. Do ní se postupně vstříkuje palivo, které je spalováno za pomoci stlačeného vzduchu. Vzduch je stlačovaný pomocí kompresoru. Spalováním získaná energie je přeměněna na tepelnou a kinetickou energii spalin. Vzniklé spaliny jsou vedeny na lopatky turbíny. Tam se část kinetické energie přemění na mechanickou a začne se roztáčet rotor turbíny. Část energie se použije na pohon kompresoru. Spalovací turbíny se využívají na pohon letadel, lodí, lokomotiv a elektrických generátorů. [12]

Jak již bylo zmíněno, spalovací motor je tepelný stroj, který transformuje tepelnou energii na mechanickou práci. Nejrozšířenějšími spalovacími motory jsou pístové. Tento druh spalovacích motorů je více popsán v kapitole 2.4.

## 2.4 Pístové spalovací motory

Pístové spalovací motory přeměňují část tepelné energie získané z paliva na pohybovou energii pístu. Spalovací proces probíhá v pracovním prostoru motoru. Je to prostor nad pístem. Pístové spalovací motory můžeme dělit podle mnoha hledisek, například podle pohybu pístu, druhu paliva, zapálení hořlavé směsi nebo způsobu činnosti a mnoha dalších.

### 2.4.1 Rozdělení podle druhu paliva

V dnešní době je možné použít všechna skupenství paliva. Podmínkou je, aby palivo dokázalo tvořit se vzduchem dobře zápalnou směs.

Kapalná paliva jsou dnes jedna z nejrozšířenějších. Jsou všude dostupná. Jedná se nejčastěji o benzín, naftu a letecký benzín. Vyrábí se z nerostných zdrojů, kterých ubývá, a proto je snaha přejít na jiný druh paliva.

Plynná paliva by jednou mohla nahradit kapalná paliva. Je snaha o jejich rozšíření. Nejčastějšími plynnými palivy jsou zemní plyn a LPG. Neustále se vyvíjí spalování vodíku, který je považován za palivo budoucnosti.

Pevná paliva se dnes využívají pouze minimálně. Důvodem je špatné spalování směsi a nízká životnost motoru, ve kterém je pevné palivo spalováno.

### 2.4.2 Rozdělení podle způsobu zapálení hořlavé směsi

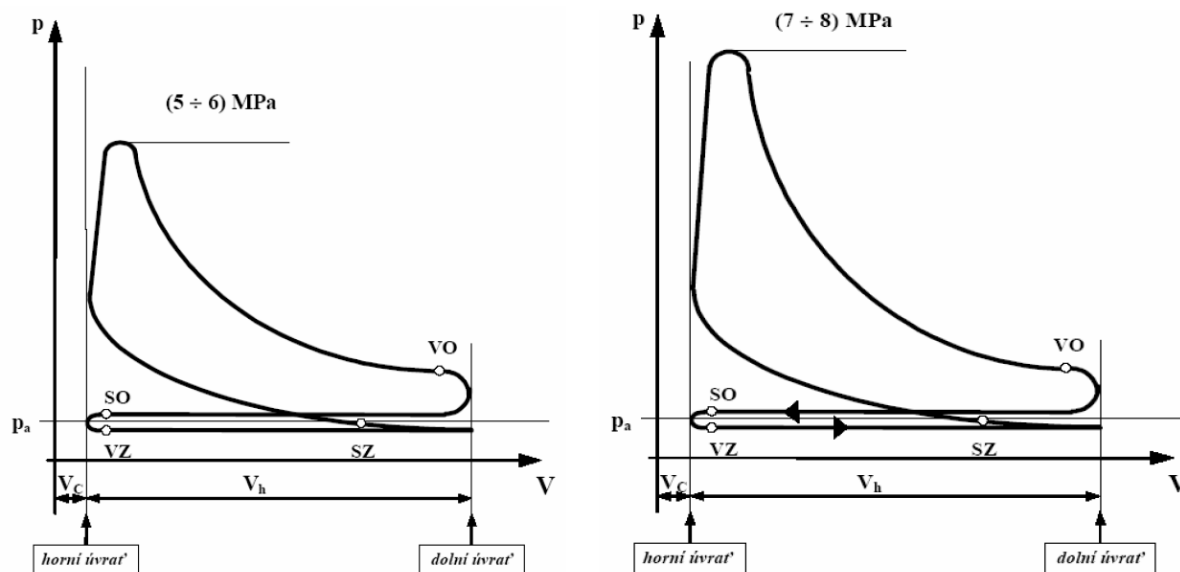
Podle způsobu zapálení spalovací směsi rozeznáváme motory zážehové a vznětové.

#### Zážehové motory

Někdy jsou také označovány jako benzinové. Tyto motory pracují s kapalnými palivy jako je benzín, metanol, benzol nebo plynnými palivy jako je LPG (propan-butan), zemní plyn nebo bioplyn. Při kompresi se směs paliva se vzduchem zahřívá na teplotu 400 °C – 500 °C. Tato teplota musí být nižší než teplota samovznícení, proto je potřeba, aby byla směs zažehnuta energií vnějšího zdroje, např. elektrickou jiskrou. Účinnost zážehového motoru závisí na přesném složení směsi. To je blíže specifikováno v kapitole 2.6. Zážehový motor pracuje za nižších tlaků tj. 5 MPa – 6 MPa [15]

#### Vznětový motor

Někdy označovány jako naftový. Pracuje s kapalnými palivy jako je nafta. Při kompresi se teplota stlačeného vzduchem pohybuje mezi 500 °C – 800 °C. Při této teplotě dochází k vstřikování paliva do válce motoru, kde dojde k jeho vznícení. K dosažení potřebné teploty vznícení musí být použit větší kompresní poměr než u zážehových motorů. Vznětový motor pracuje za vyšších tlaků tj. 7 MPa – 8 MPa. Podrobně se budeme vznětovým motorem zabývat v dalších kapitolách. [15]



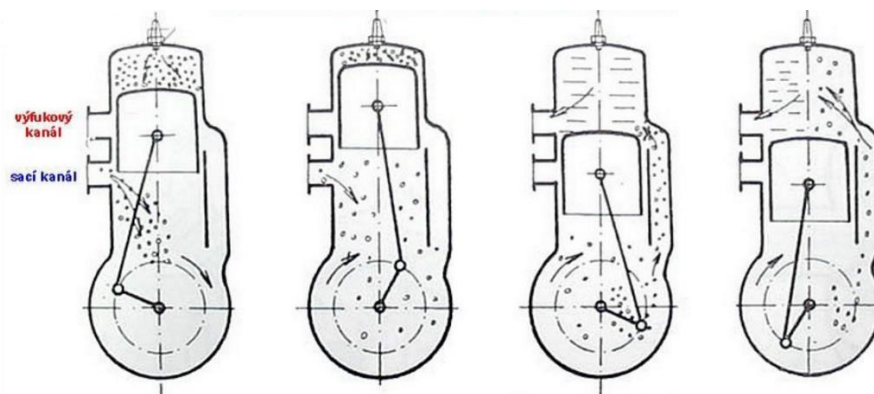
Obrázek 9. Porovnání pracovního oběhu zážehového (vlevo) a vznětového motoru (vpravo) - převzato z [16]

### 2.4.3 Rozdělení podle způsobu činnosti

Rozdělení podle způsobu činnosti je myšlené podle počtu zdvihů, které připadají na jeden pracovní cyklus motoru. Takto dělíme motory na dvoudobé a čtyřdobé.

#### Dvoudobý motor

Jak již název motoru napovídá, všechny fáze pracovního oběhu u dvoudobých motorů proběhnou během dvou zdvihů pístu, to je během jedné otáčky klikového mechanismu. Pracovní cyklus probíhá pod pístem i nad ním. Plnění a vyprazdňování válce je uskutečňováno pomocí kanálků ve stěně, které jsou otevírány nebo zavírány pomocí pístu. Mazání je uskutečňováno olejem rozpuštěným v palivu. Pracovní fáze dvoudobého motoru se uskutečňují vždy dvě současně – sání a komprese, expanze a výfuk. Pokud se píst pohybuje z dolní úvratě do horní, vzniká v klikové skříni podtlak. V určitou chvíli píst otevře sací kanál, kterým se díky podtlaku nasaje zápalná směs. Zároveň během pohybu se uzavírá přepouštěcí a výfukový kanál viz obr. 10 část 1. Přepouštěná směs se stlačuje a nastává komprese, viz. obr. 10 část 2. Takže zároveň probíhá sání a komprese. Těsně před horní úvratí dojde k zapálení směsi a nastává expanze. Expanzí je píst tlačěn do dolní úvratě. Tím zavírá sací kanál a začne stlačovat směs pod sebou, viz. obr. 10 část 3. Po chvíli dochází k otevření výfukového a přepouštěcího kanálu. Přepouštěná směs začne vytlačovat spaliny a dostane se do prostoru nad pístem, viz. obr. 10 část 4. Současně tak probíhá expanze a výfuk. V tuto chvíli je píst opět v dolní úvratí a proces se opakuje. [5]



Obrázek 10 Pracovní fáze dvoudobého motoru- převzato z [13]

### Čtyřdobý motor

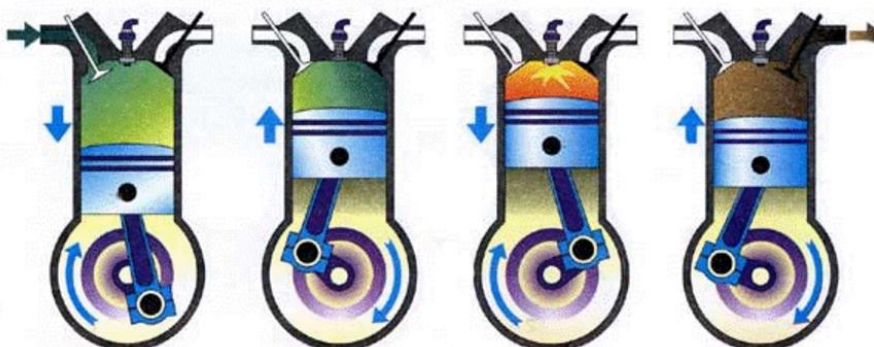
Pracovní cyklus tvoří čtyři zdvihy pístu během dvou otáček klikového hřídele. Pracovní cyklus probíhá pouze v prostoru nad pístem. Mazání celého motoru zajišťuje tlakový mazací systém, který dopravuje mazací olej na všechna potřebná místa v motoru. Ten zajišťuje i mazání pohybu pístu ve válci. Nedochází ke smíšení oleje a paliva jako je u dvoudobého motoru. Pracovní fáze čtyřdobého motoru je sání, komprese, expanze a výfuk. Každá tato fáze probíhá zvlášť.

**Sání :** Píst se pohybuje z horní úvratě do dolní. Sací ventil je otevřený a dochází k nasávání paliva a vzduchu. Výfukový ventil je zavřený. To je popsáno na obr. 11 v první části.

**Komprese :** Píst se pohybuje z dolní úvratě do horní. Oba ventily jsou zavřené. Pracovní prostor se zmenšuje a dochází ke zvyšování teploty a tlaků. U zážehových motorů se těsně před horní úvratí zapálí jiskrou. To je vidět na obr. 11 v části 2. U vznětového motoru se směs zapálí působením vysokých teplot a tlaků.

**Expanze :** Zapálená směs hoří. Tím se prudce zvýší tlak a teplota. Oba ventily jsou stále uzavřené. Píst je tlačěn do spodní úvratě a koná práci. To je popsáno na obr. 11 ve 3.části.

**Výfuk :** Píst se pohybuje ze spodní úvratě do horní. Tím vytlačuje spaliny z pracovního prostoru do výfukového prostoru. Po celou tuto dobu je výfukový ventil otevřený a sací ventil je zavřený. Píst se nachází v horní úvratí, zavře se výfukový ventil. To lze vidět na obr. 11 ve čtvrté části. Zároveň se otevře sací ventil a pracovní cyklus se v tomto pořadí neustále opakuje. [7]



Obrázek 11. Pracovní fáze čtyřdobého motoru - převzato z [13]



## Rozdíly mezi čtyřdobým a dvoudobým motorem

Dvoudobý motor má větší měrný výkon. To je důsledkem dvojnásobného počtu pracovních zdvihů. Dochází ke dvojnásobné expanzi na jednu otáčku, a z toho vyplývá, že je více tepelně namáhaný. Konstrukce dvoudobého motoru je jednodušší. Má větší spotřebu oleje, protože dochází k jeho přímému spalování. To souvisí s větším obsahem škodlivin ve výfukových plynech právě proto, že dochází ke spalování oleje. Spalováním oleje dojde k úniku do ovzduší velkého množství nespálených uhlovodíků.

Čtyřdobý motor je v dnešní době nejvíce využívaný. Tímto druhem motorů se budeme dále zabývat v mé práci. Přesný proces, který při spalování probíhá, je popsán v následující kapitole.

### 2.5 Počátek procesu

Při spalování probíhá hoření a oxidační reakce uhlovodíků. Oxidační reakce je závislá na reakčních podmínkách. Pokud jsou nepříznivé podmínky, rychlost oxidačních reakcí uhlovodíku je téměř nulová. Pokud jsou podmínky příznivé, rychlost reakce se může přiblížit k rychlosti chemické reakce výbušniny. Uhlovodíky reagují s kyslíkem dvojím způsobem: buď pomalou oxidací nebo rychlým hořením. Rychlé hoření probíhá u spalování paliva v motoru. [1]

#### 2.5.1 Pomalá oxidace

Aby došlo k urychlení reakce a vzniku oxidačních meziproductů, stačí malé zvýšení teploty v porovnání s adiabatickou teplotou plamene kolem 2500 °C. Rychlost přeměny je omezená. Obvykle rychlost klesá po dosažení maxima. Příčinou je například to, že dojde ke spotřebování reakčního produktu. Dochází k tomu například při reakci uhlovodíků v kapalně fázi, s kyslíkem nebo pouze se vzduchem při vyšších teplotách. Vzduch se vždy v uhlovodíkách rozpustí. Oxidace probíhá i za normálních teplot. Probíhá to ale velmi pomalu. Rychlost oxidace se zvyšuje dvojnásobně při nárůstu teploty o 10 °C. To platí pro oblast nad 200 °C. Při oxidaci vznikají pouze meziproducty, nedosáhneme konečných prvků. [1,2]

#### 2.5.2 Rychlé hoření

Rychlé hoření je charakteristické velkým vývojem tepla. Spalování probíhá převážně až na konečné sloučeniny, kterými jsou oxid uhličitý a voda. Proces hoření probíhá v plynné fázi. Může být přítomna i kapalná fáze. Pro prvotní impuls je potřeba určitého množství tepla pro reakci ve směsi. To se označuje jako velká iniciační energie. Na základě chemiluminiscenčních procesů atomových forem vzniká světlo, a důsledkem těchto reakcí vzniká plamen. [1, 2]

#### 2.5.3 Podmínky pro vyvolání hoření

K vyvolání hoření musí být splněna řada podmínek. Hlavní podmínkou je dostatečná koncentrace molekul paliva a kyslíku ve vhodném poměru v palivové směsi. Musí být zajištěna dostatečná koncentrace volných radikálů a frekvence jejich srážení s molekulami. Srážky reagujících částic jsou efektivní pouze tehdy pokud jejich energie překročí kritickou hodnotu. Tyto podmínky můžeme zlepšit zvyšováním tlaku, zvyšováním teploty palivové směsi a vytvořením ideálního poměru směsi vzduch/palivo.

Rychlé hoření může probíhat rozdílným způsobem, záleží na daném reakčním prostředí. Na začátku probíhá většinou jako pomalá oxidace. Zvýšením teploty směsi a jejím rychlým stlačením dojde k extrémnímu zrychlení procesu. To je označováno jako spontánní vzní-

cení nebo samovznícení. Proces může proběhnout v celém objemu nebo pouze v části reakční směsi, tam kde jsou příznivější podmínky, např. vyšší teplota a koncentrace. Toto je charakteristické pro vznětové motory. [1]

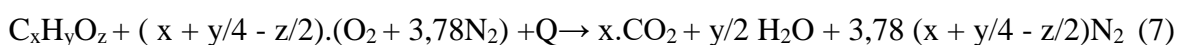
Pro správný proces spalování je důležité, v jakém poměru se nachází palivová směs. Správný poměr je potřebný pro správný chod motoru. Tento poměr je popsán pomocí směšovacího poměru, který je rozebrán v následující kapitole.

## 2.6 Směšovací poměr

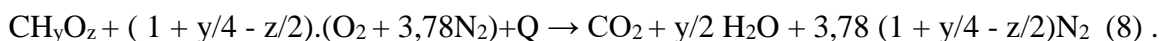
Směšovací poměr je poměr mezi vzduchem a palivem. Ideální směšovací poměr je definován stechiometrickým poměrem.

### 2.6.1 Stechiometrický poměr

Bilanci spalování paliv můžeme vyjádřit oxidačními rovnicemi [2]:



nebo



Poměr mezi vzduchem a palivem podle této rovnice se nazývá stechiometrický. Je to potřebný poměr pro dokonalé spálení paliva bez přebytku vzduchu. To znamená, že spaliny neobsahují žádný kyslík. Myslíme tím teoretické množství spotřebovaného vzduchu při přepočtu na teoretické množství kyslíku. (tab. 1) Teoretická spotřeba vzduchu při úplném spálení motorové nafty nebo benzínu se pohybuje mezi 14,5 – 15 kg na 1 kg paliva. Množství závisí na složení paliva. Dokonalým spálením 1 kg uhlovodíků nafty a benzínu dojde ke vzniku přibližně 3 kg oxidu uhličitého a 1,5 kg vodní páry.

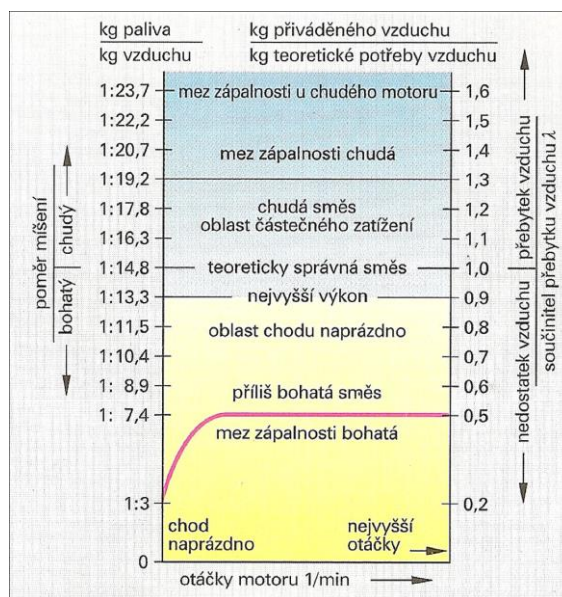
Množství vzduchu pro spalování můžeme vyjádřit v hmotnostním směšovacím poměru vzduch/palivo nebo v objemovém směšovacím poměru vzduch/palivo. [2]

Tabulka 1 Stechiometrický poměr vzduchu a paliva (hmotnostní zlomek) [2]

uhlovodík	Vzorec	Stechiometrický poměr (vzduch/palivo)
butan	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	15,43
Pentan	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	15,38
Hexan	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	15,26
Heptan	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	15,1
Oktan	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	15,05
Benzen	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	13,21
Toluen	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	13,42
Xylen	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	13,52
Acetylen	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	13,39
Etanol	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	8,96
Metanol	CH <sub>3</sub> OH	6,46

V praxi se využívá k posouzení procesu převážně součinitel přebytku vzduchu, který je označován jako λ (lambda). Ten udává odchylku směsi od stechiometrického poměru. V bohaté směsi na palivo, tj. λ < 1, dochází k nedokonalému spalování v důsledku nedostatku vzduchu. Větší rychlostí hoří mírně bohaté směsi na palivo. Pokud je λ > 1 jde o chudou směs. Velmi chudé nebo naopak bohaté směsi hoří velmi pomalu nebo dokonce nejdou zažehnout. [2]

$$\lambda = \frac{\text{Množství přivedeného vzduchu v kg}}{\text{teoretická spotřeba vzduchu v kg}}$$



Obrázek 12. Směšovací poměr - převzato z [22]

Po nastavení přesného poměru je důležité, jak vlastně probíhá spalovací proces. Základem je přípravná fáze, pak se začíná tvořit směs. V této fázi je důležité, aby bylo dosaženo stechiometrického poměru. Poté již probíhá samotný spalovací proces. Podrobněji je spalovací proces popsán v následující kapitole.

## 2.7 Průběh procesu

Procesy popisované v kapitole 2.5 jsou zidealizované. Ve skutečnosti proces probíhá za velmi rozdílných podmínek, které se v průběhu spalování mění. Jedná se o teplotu, tlak, složení směsi, její přípravu, turbulenci a další. Rozdílné podmínky jsou například při startování studeného motoru a při chodu krátce po nastartování. Za těchto podmínek proces hoření nabývá velmi pomalu a nemusí proběhnout v celém objemu směsi.

Tento proces můžeme rozdělit na dvě fáze. První fází je příprava, ve které probíhá odpařování paliva. Dochází k první chemické reakci bez většího nárůstu tepla a mnoho dalších reakcí. V této fázi vzniká z některých reakcí tzv. studený plamen. Ve chvíli, kdy se alespoň lokálně vytvoří podmínky dostatečné pro chemické reakce paliva s kyslíkem a dostatečná koncentrace radikálů, dojde ke vzniku hoření. Při všech předcházejících činnostech se energie spotřebovává na odpaření kapalného paliva nebo se ve velmi malém množství tepla uvolňuje například při předplamenových reakcích. Toto teplo přechází do okolí, aniž by došlo ke většímu zvýšení teploty. Hoření je určité stádium spalování. [1, 2]

### 2.7.1 Přípravná fáze

Přípravná fáze u vznětového motoru je rozdílná od zážehového motoru. Palivem ve vznětových motorech je nafta. Ta má vyšší teplotu odpařitelnosti. Proces odpaření trvá déle než u benzínu, proběhne nedokonale a vzniklá směs je značně nehomogenní. Proces odpaření musí proběhnout jako první. Jeho délka ovlivňuje délku celé přípravné fáze. První chemické reakce začnou probíhat po odpaření podílu vstříkovaného paliva. Postupně přibývají v průběhu vstříkování další dávky. Ta může být vstříkována přímo do zóny hoření. Vlivem vysoké teploty se odpaření a narůstání reakcí hoření urychlí. První probíhá reakce krakování uhlovládů, při níž dochází ke vzniku volných radikálů. Pak až probíhá chemická reakce hoření. [1]

### 2.7.2 Tvorba směsi

Naftové motory pracují s přebytkem vzduchu. Směs je nerovnoměrná, protože se vytváří až ve válci. Dochází k tomu, že směs není homogenní. To znamená, že při spalování vzniká částečný nedostatek paliva nebo nedostatek vzduchu. Příprava směsi ovlivňuje užitný výkon, emise výfukových plynů, spotřebu paliva a hluk.

Vzhledem k nižší hodnotě odpařitelnosti nafty nelze vytvořit směs paliva se vzduchem pomocí vstřikování paliva do nasávaného proudu vzduchu. Palivo se vstřikuje přímo do válce motoru. Tento proces se provádí na konci kompresního zdvihu (přibližně  $12^\circ$  -  $30^\circ$  úhlu kliky před horní úvratí). Palivo se jemně rozprašuje do prostoru válce. Velikost dávky paliva je dána závislostí na zatížení motoru. U osobních automobilů se dávka paliva při plném zatížení pohybuje v rozmezí 40 až 50 mm<sup>3</sup> na zdvih za dobu vstřikování  $20^\circ$  až  $40^\circ$  úhlu kliky. Vstřikovací tlak může dosahovat až 20 MPa podle typu motoru. [1, 5]

U naftového motoru se používají dva způsoby tvorby směsi. První je termický a druhý je objemový.

#### Termický způsob

Tímto způsobem se vstřikuje palivo do spalovacího prostoru tryskou, která má jeden nebo dva otvory. Vstřikuje se tak, aby se rozteklo po stěně prostoru v tenkém filmu. Prostupem tepla ze stěny prostoru do palivového filmu dochází k postupnému odpařování. Páry se smísí se vzduchem a vytvoří směs, která postupně hoří. Tento způsob se využívá u motorů s děleným spalovacím prostorem, tzv. komůrkové motory.

#### Objemový způsob

Tento způsob je charakteristický tím, že celý objem spalovacího prostoru je vyplněn jemně rozprašeným palivem. Palivo by nemělo dopadat na stěny válce. Tento předpoklad je zajištěn přímým vstřikováním paliva, více otvorovou tryskou do neděleného spalovacího prostoru.

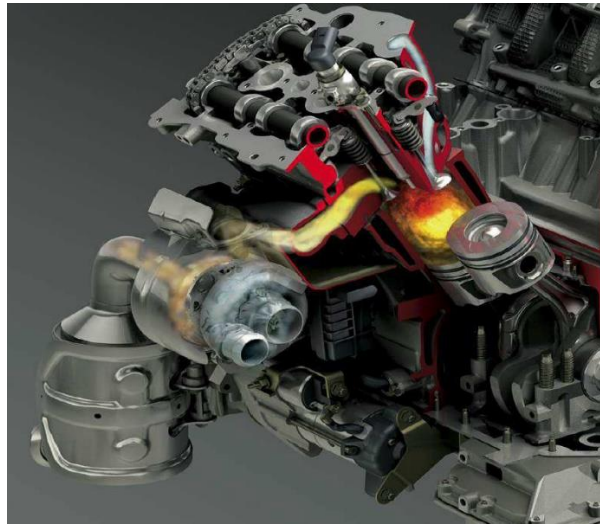
### 2.7.3 Spalovací proces

Spalování směsi se uskutečňuje v krátkých časových intervalech. Podmínky pro kvalitní spalování jsou zajištěny potřebným smíšením paliva s nasávaným vzduchem. Vznětový motor pracuje s chudou směsí, tj. s přebytkem vzduchu. [5]

Do válců vznětového motoru je nasáván čistý vzduch. Během komprese se stlačuje na vysoký tlak a důsledkem toho se silně zvýší jeho teplota. Do takto zahřátého a stlačeného vzduchu je před dosažením horní úvratě pístu vstříknuto pod tlakem palivo. Musí to být ve správný okamžik a ve správném množství. Paprsek paliva se velmi rychle rozpadá na miniaturní kapky. Díky tomu dochází k vypařování paliva z povrchu kapek. Velikost kapek je velmi důležitá. Vznícení spalovací směsi proběhne tím rychleji, čím jsou kapky menší. Pokud jsou menší, mají menší povrch a rychleji se odpaří. Tím vzniká mísení paliva se vzduchem. Zároveň dochází i k rozpadu molekul uhlovodíkového paliva na aktivované částice. Proces probíhá velkou rychlostí a zajišťuje vznik mnoha ohnisek v celém prostoru. Tím, že procesy probíhají rovnoměrně v celém prostoru, dochází k vysoké stabilitě spalovacího procesu.

Po shoření vnější vrstvy musí v prostoru zůstat dostatek kyslíku, aby byl schopen reakce pro pokračování hoření. Pokud je málo kyslíku dochází k nedokonalému spalování, snižování účinnosti a tvorbě škodlivých emisí. Energie uvolněná z chemické reakce se projeví prudkým nárůstem tlaku v prostoru nad pístem, který je stlačován směrem k dolní úvratí. Píst svým pohybem působí na ojnici silou, která pak vytváří prostřednictvím klikového mecha-

nismu točivý moment. Přímočarý pohyb pístu je tak převáděn na otáčivý pohyb klikového hřídele, který pak využijeme na mechanickou práci, například pro pohon silničních vozidel. [5, 17]



Obrázek 13. Vznícení paliva ve válci - převzato z [23]

Čas mezi vstříknutím paliva a vznícením je označován jako **prodleva vznícení**. Pohybuje se mezi 0,002 s - 0,005 s v závislosti na dosažených podmínkách před začátkem hoření. Průběh prodlevy vznícení je velmi důležitý. Pokud by se palivo vstříkovalo do spalovacího prostoru příliš brzo, vzduch by nebyl dostatečně zkomprimovaný a prodleva by se prodlužovala. Pokud je prodleva moc velká, dochází k jevům připomínající klepání u zážehových motorů. U vznětových motorů je to označováno jako **tvrký chod** motoru. Při tom dochází k většímu dynamickému namáhání klikového mechanismu vlivem většího tlaku na stupeň pootočení klikového hřídele. Prodleva se projeví hlavně na energetické účinnosti.

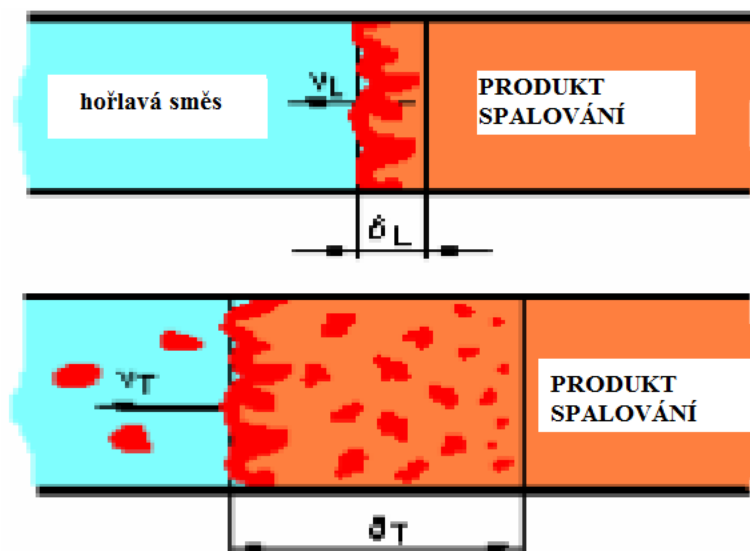
Důležitý je okamžik vstříknutí paliva vzhledem k poloze, ve které se nachází píst. Ten má být zvolen tak, aby tlak ve válci byl maximální v poloze  $6^{\circ}$ - $10^{\circ}$  natočení klikového hřídele za horní úvratí pístu. Splnění těchto požadavků je velmi náročné. To vedlo k mnoha změnám. Ty se projevily ochlazováním plnicího vzduchu, zvýšením nároků na čistotu vzduchu a paliva, chlazením paliva, velmi důležitým zvýšením vstřikovacího tlaku a především použitím elektroniky, která zajišťuje přesné řízení procesu palivové soustavy. [17]

#### 2.7.4 Hoření směsi

Průběh hoření směsi ve válci je ovlivněn pohybem směsi ve spalovacím prostoru. Hoření může probíhat laminárně nebo turbulentně.

Laminární hoření probíhá za ustálených teplot. Fronta plamene je celistvá a rovnoměrná. Rychlost hoření je přibližně 2 m/s.

U turbulentního hoření dochází k víření směsi. Jedná se o nahodilý proces, při kterém se neustále mění rozložení teplot. Změna teplot je důsledkem intenzivního hoření. Zóna hoření je rozsáhlejší než u laminárního hoření. Fronta plamene je rozdělena na několik samostatných ohnisek. Hoření je mnohonásobně rychlejší, tj.: 30-40 m/s. Turbulentní hoření se uplatňuje především u vznětových motorů. [19]



Obrázek 14. Fronta plamene u laminárního (nahore) a turbulentního (dole) spalování - převzato z [17]

U spalovacího procesu chceme dosáhnout největší účinnosti. Čím je ovlivněna účinnost a jak jí zvyšovat je rozebráno v následující kapitole.

## 2.8 Účinnost a možnosti zvyšování výkonu

Účinnost motoru závisí na velikosti uvolněného tepla. Druh a množství tepla, které vzniká při spalování popisuje tepelná bilance motoru.

### 2.8.1 Tepelná bilance motoru

Tepelným rozbohem pístového spalovacího motoru zjišťujeme, že z množství tepla dodaného palivem se využije pouze určitá část na získání užitečného výkonu. Přehled rozdělení tepla poskytuje tepelná bilance. Zahrnuje tepelné ztráty, které jsou pro chod motoru nezbytné. Hlavní snahou je tyto ztráty snižovat. Tepelnou bilanci můžeme vyjádřit vztahem [5]:

$$Q_p = Q_{ns} + Q_{chl} + Q_o + Q_v + Q_{ost} + Q_e \quad (9)$$

Jednotlivá tepla mají jednotku zpravidla  $J \cdot kg^{-1}$ ,  $J \cdot s^{-1}$ ,  $J \cdot oběh^{-1}$

- $Q_p$  celkové množství tepla přivedeného z paliva
- $Q_{ns}$  teplo ztracené nedokonalým spalováním paliva
- $Q_{chl}$  teplo odvedené chladicí soustavou
- $Q_o$  teplo odvedené chladicím olejem
- $Q_v$  teplo odvedené výfukem
- $Q_{ost}$  ostatní ztracené teplo. To zahrnuje například teplo ztracené sáláním, kinematičká energie výfukových plynů, teplo ekvivalentní mechanickým ztrátám
- $Q_e$  teplo odpovídající efektivní práci motoru

### Celkový tepelný tok přivedený v palivu $Q_p$

$$Q_p = M_{ph} \cdot H_u \text{ [kJ} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (10)$$

$H_u$  dolní výhřevnost paliva [ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ]

$M_{ph}$  průtočné množství paliva [ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ]

$$M_{ph} = \frac{v_p \cdot \rho_p}{T_p} \quad (11)$$

$T_p$  čas na spotřebu množství měřeného paliva [s]

$v_p$  množství měřeného paliva [ $\text{m}^3$ ]

$\rho_p$  hustota paliva [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]

### Tepelný tok ztracený nedokonalým spalováním paliva $Q_{ns}$

$$Q_{ns} = (1 - \eta_{ch}) \cdot H_u \cdot M_{ph} \text{ [kJ} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (12)$$

$H_u$  dolní výhřevnost paliva [ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ]

$M_{ph}$  průtočné množství paliva [ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ]

$\eta_{ch}$  chemická účinnost spalování [ - ]

### Teplo odvedené chladicí soustavou $Q_{chl}$

$$Q_{chl} = M_w \cdot c_w \cdot (T_{w2} - T_{w1}) \text{ [kJ} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (13)$$

$M_w$  průtokové množství chladicí kapaliny [ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ]

$c_w$  měrná tepelná kapacita chladicí kapaliny(vody) [ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

$T_{w2}$  teplota vstupní chladicí kapaliny (vody)[K]

$T_{w1}$  teplota výstupní chladicí kapaliny (vody) [K]

$$M_w = \frac{v_w \cdot \rho_w}{T_w} \quad (14)$$

$T_w$  čas na spotřebu množství měřené chladicí kapaliny [s]

$v_w$  množství měřené chladicí kapaliny [ $\text{m}^3$ ]

$\rho_w$  hustota chladicí kapaliny [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]

### Teplo odvedené výfukem $Q_v$

$$Q_v = M_v \cdot c_p \cdot (T_v - T_o) \text{ [kJ} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (15)$$

$c_p$  měrná tepelná kapacita výfukových plynů za stálého tlaku [ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

$T_v$  teplota výfukových plynů [K]

$T_o$  teplota nasávaného vzduchu [K]

$M_v$  hmotnostní průtok výfukových plynů [ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ]

$$M_v = M_{ph} + M_{vz} \quad (16)$$

$M_{ph}$  průtočné množství paliva

$M_{vz}$  průtočné množství vzduchu

$$M_{ph} = \frac{v_p \cdot \rho_p}{T_p} \quad (17)$$

$$M_{vz} = \frac{v_{vz} \cdot \rho_{vz}}{T_{vz}} \quad (18)$$

$T_{vz}$  čas na spotřebu množství měřeného vzduchu [s]

$v_{vz}$  množství měřeného vzduchu [ $m^3$ ]

$\rho_{vz}$  hustota vzduchu [ $kg \cdot m^{-3}$ ]

**Teplo odpovídající efektivní práci motoru  $Q_e \approx P_e$**

$$Q_e = M_t \cdot \omega = M_t \cdot 2 \cdot \pi \cdot n \cdot 10^{-3} \quad [kJ \cdot s^{-1}] \quad (19)$$

$M_t$  točivý moment [ $N \cdot m$ ]

$n$  otáčky motoru [ $s^{-1}$ ]

$\omega$  úhlová rychlost [ $s^{-1}$ ]

**Ostatní ztracené teplo  $Q_{ost}$**

Ostatní ztracené teplo můžeme vyjádřit podrobněji rovnicí:

$$Q_{ost} = Q_o + Q_s + Q_{zb} \quad [kJ \cdot s^{-1}] \quad (20)$$

$Q_o$  teplo odvedené olejem

$Q_s$  teplo vysálané do prostoru motorem

$Q_{zb}$  zbývající teplo (neměřitelné ztráty)

**Procentuální vyjádření jednotlivých složek**

Jedná se o vyjádření poměru mezi jednotlivými složkami tepla a celkovým teplem obsaženým ve spotřebovaném palivu.

Teplo ztracené nedokonalým spálením paliva

$$q_{ns} = \frac{Q_{ns}}{Q_p} \cdot 100 \quad [\%] \quad (21)$$

Teplo odvedené chladicí kapalinou

$$q_{chl} = \frac{Q_{chl}}{Q_p} \cdot 100 \quad [\%] \quad (22)$$

Teplo odvedené výfukem

$$q_v = \frac{Q_v}{Q_p} \cdot 100 \quad [\%] \quad (23)$$

Teplo efektivního (užitného) výkonu

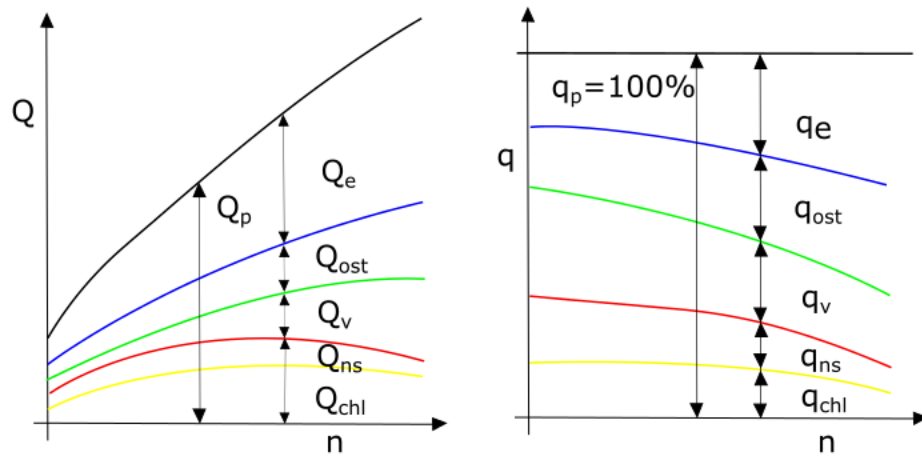
$$q_e = \frac{Q_e}{Q_p} \cdot 100 \quad [\%] \quad (24)$$



Teplo ostatních ztrát

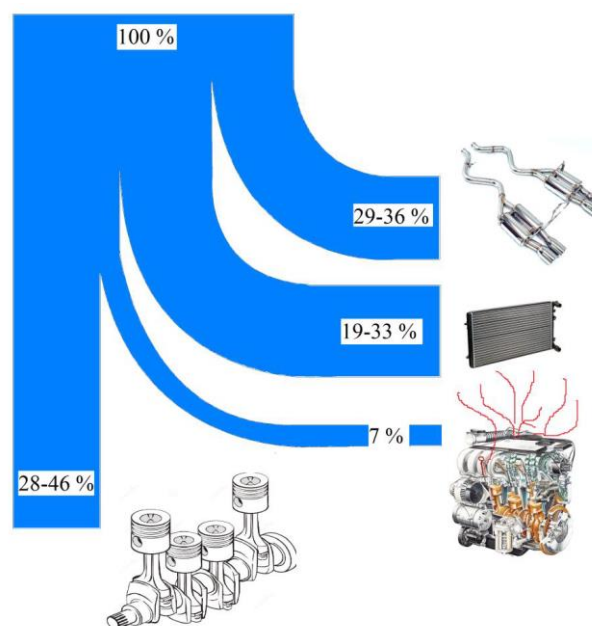
$$q_{ost} = \frac{Q_{ost}}{Q_p} \cdot 100 \quad [\%] \quad (25)$$

$$q_{ns} + q_{chl} + q_v + q_e + q_{ost} = 100 \quad (26)$$



Obrázek 15. Procentuální vyjádření složek tepelné bilance - převzato z [20]

Tepelnou bilanci můžeme vyjádřit i pomocí Sankeyova diagramu. V praxi se používá více.



Obrázek 16. Sankeyův diagram - převzato z [5]

Tabulka 2. Teplotní bilance spalovacích motorů [5]

Typ motoru		Zážehový motor	Vznětový motor
Teplo přeměněné na výkon [%]		32	46
Teplo odvedené chlazením	Teplo odvedené při hoření [%]	6	8
	Teplo odvedené pro expanzi [%]	7	6
	Teplo odvedené při výfuku	15	9
Teplo vyvolané třením pístu [%]		2	2
Teplo odvedené výfukovými plyny a zářením [%]		38	30

## 2.8.2 Účinnost

U spalovacího motoru rozlišujeme efektivní, indikovanou a mechanickou účinnost. Účinnost spalovacího motoru můžeme definovat jako poměr mezi užitným výkonem motoru a přivedenou energií z paliva za jednotku času. Energií paliva jsme si definovali v kapitole 2.8.1. pomocí rovnice (10)

Účinnost je dána obecným vztahem [5]:

$$\eta = \frac{P}{Q_p} \quad (27)$$

Indikovaná účinnost je definovaná:

$$\eta_i = \frac{P_i}{Q_p} \quad (28)$$

Efektivní účinnost nebo také celková účinnost motoru je:

$$\eta_e = \frac{P_e}{Q_p} \quad (29)$$

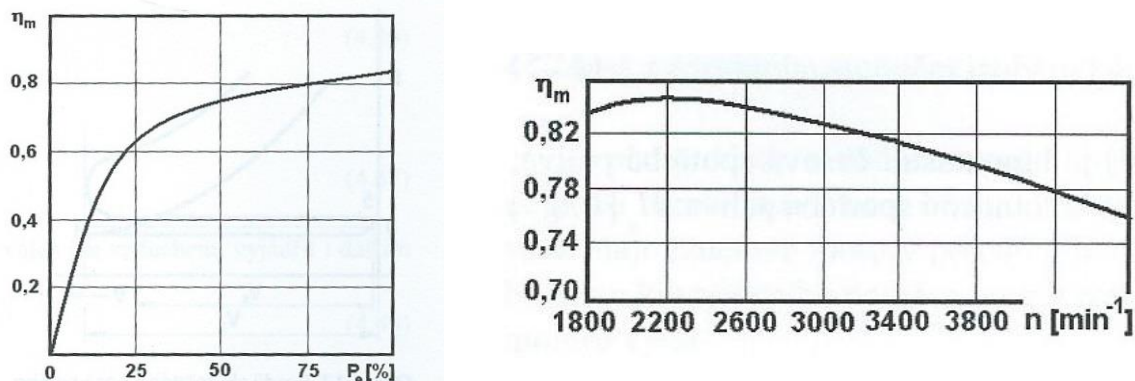
Mechanická účinnost vyjadřuje mechanické ztráty. Je daná poměrem indikovaného a efektivního výkonu motoru.

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_i} = \frac{\eta_e}{\eta_i} \quad (30)$$

Efektivní výkon můžeme rozepsat jako rozdíl mezi indikovaným výkonem  $P_i$  a ztrátovým výkonem  $P_z$ . Potom se nám vztah změní:

$$\eta_m = \frac{P_i - P_z}{P_i} \quad (31)$$

Ztrátový výkon udává velikost výkonu potřebného ke zvládnutí pasivních odporů motoru. Přibližná hodnota ztrátového výkonu  $P_z = 10 - 30\% P_i$ . U vznětového motoru se mechanická účinnost pohybuje  $\eta_m = 0,70 - 0,87$ . Přepřlované motory mají vyšší účinnost. Mechanické ztráty zážehového motoru jsou podstatně menší než u vznětového motoru. Mechanická účinnost klesá s rostoucími otáčkami motoru. Při konstantních otáčkách se účinnost zvyšuje s rostoucím výkonem motoru. Je to dáno tím, že odpory rostou se zatížením pomaleji než výkon. [1]



Obrázek 17. Závislost mechanické účinnosti na výkonu motoru (vlevo) na otáčkách (vpravo) - převzato z [1]

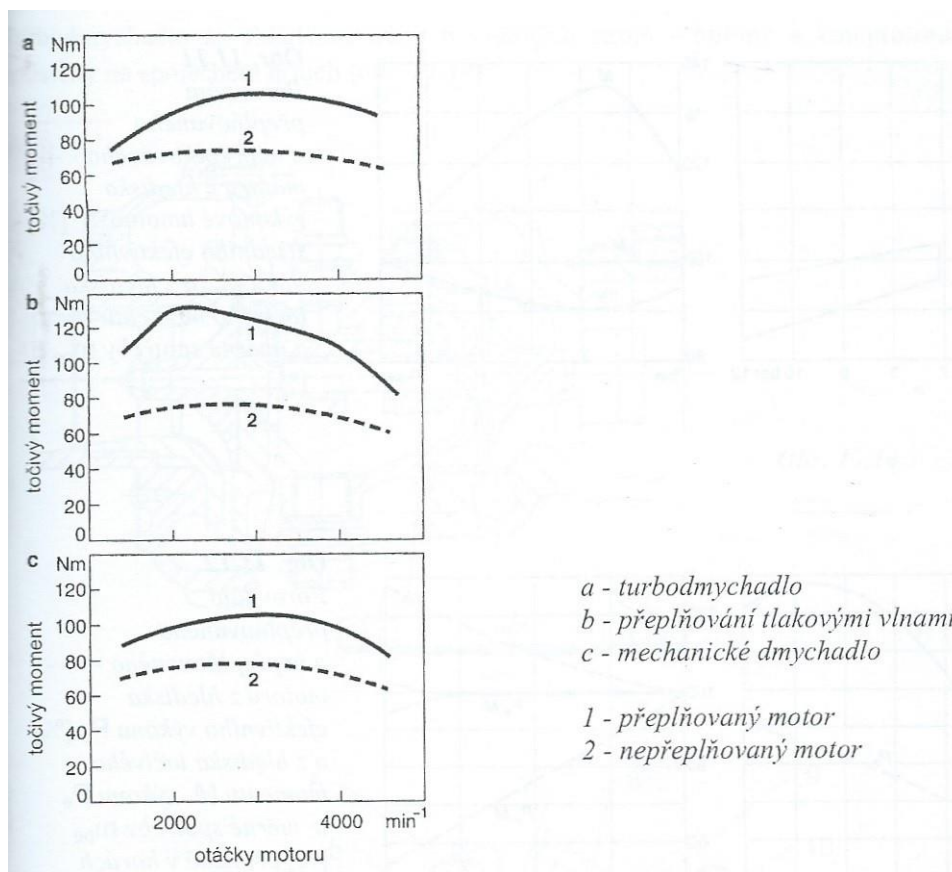
### 2.8.3 Možnosti zvyšování výkonu

Zvýšením výkonu dosahujeme zvyšování účinnosti motoru. U naftových motorů je velikost užitého výkonu řízen kvalitativně. To znamená, že záleží na obsahu paliva ve směsi palivo vzduch. Nejúčinnější z možností zvyšování výkonu je přeplňování motoru.

#### Přeplňování vznětových motorů

Naftové motory, na rozdíl od benzínových, pracují s přebytkem vzduchu. Účelem přeplňování je dopravit do válce více vzduchu. To umožní i vyšší dodávku paliva. Přeplňované motory dosahují vyšších výkonů při srovnatelně nižší spotřebě paliva. Dosahují také nižšího podílu škodlivin ve výfukových plynech. K přeplňování se používá turbodmychadlo. Turbína transformuje energii výfukových plynů na rotační pohyb, který pohání dmychadlo. Dmychadlo nasává vzduch a stlačený ho dodává do jednotlivých válců. Dochází tak k využití energie výfukových plynů, která by pouze unikala výfukem ven.

Přeplňováním se dostane do pracovního prostoru více vzduchu, díky tomu je možné přivést větší množství paliva na jeden oběh. Tím dojde ke zvýšení točivého momentu a výkonu motoru viz obr. 18 Při malém zvýšení spotřeby lze pomocí turbodmychadla zvýšit výkon motoru v rozsahu 20 % - 90 %. [5]



Obrázek 18 Porovnání různých metod přepřňování s nepřepřňovaným motorem - převzato z [5]

### Doba vstřiku paliva

Na výkon motoru má velký vliv doba, kdy probíhá spalování. Při určení skutečného začátku spalování, musíme zvažovat prodlevu vznícení a prodlevu vstřiku. Prodleva vznícení je čas, od doby vstřiknutí paliva do válce, až po samovznícení. Velikost prodlevy ovlivňuje mnoho faktorů: kompresní poměr, vznětlivost paliva, teplota nasávaného vzduchu, rozprášení paliva a provozní teplota motoru.

Nejlepšího spalování a tedy i největšího výkonu vznětového motoru se dosáhne při určité poloze klikového hřídele. Největší teploty stlačením paliva ve válci je doraženo ve chvíli, kdy se píst nachází přesně v horní úvratí. Pokud by spalování proběhlo daleko před horní úvratí, nastal by prudký nárůst tlaku s pokračujícím stlačováním směsi. To by mělo za následek působení tlaku proti pohybu pístu a výrazně by se tím snižovala účinnost. Proto je potřebné dobré načasování vstřiku paliva. [25]

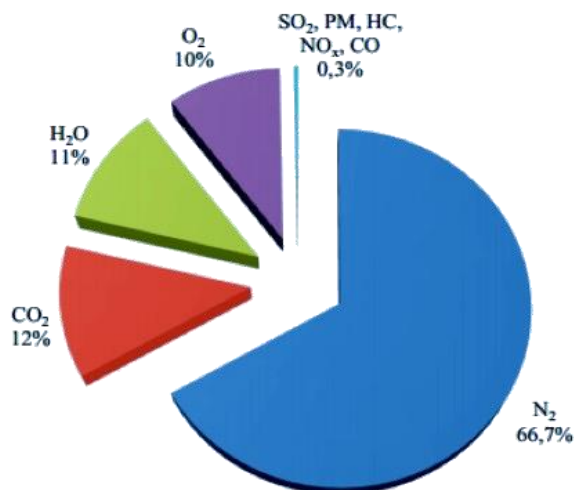
### 2.9 Emisní limity, vznik a důvod

Při procesu spalování vznikají přeměnou paliva výfukové plyny. V následující kapitole je definováno, z čeho se skládají. Tyto plyny jsou životu nebezpečné a znečišťují ovzduší, proto jsou v dnešní době zavedeny emisní limity. Více informací o emisních limitech je v kapitole 2.9.2.

### 2.9.1 Výfukové plyny

Výfukové plyny jsou směsí chemických látek, které vznikají spalováním paliv v motorech. Jednotlivé prvky plynu vznikají chemickou reakcí kyslíku se složkami obsaženými v palivech. Množství výfukových plynů závisí na typu paliva, způsobu tvoření směsi, tvaru spalovacího prostoru a užití zařízení k snížení emisí.

Dokonalým spalováním vzniká oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ) a voda ( $\text{H}_2\text{O}$ ). V reálném procesu dochází k nedokonalému spalování. Při něm vznikají škodliviny, především oxid uhelnatý ( $\text{CO}$ ), oxidy dusíku ( $\text{NO}_x$ ), nespálené uhlovodíky ( $\text{HC}$ ), oxidy síry ( $\text{SO}_x$ ) a makroskopické pevné látky ( $\text{PM}$ ).

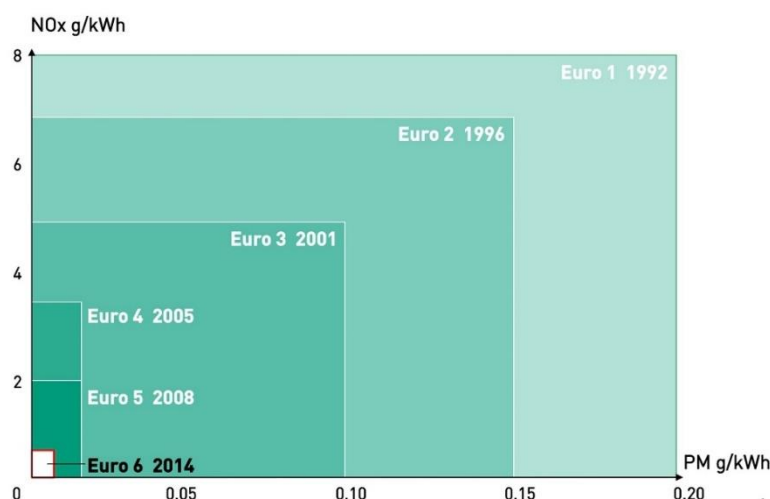


Obrázek 19. Složení výfukových plynů - převzato z [19]

### 2.9.2 Emise škodlivých plynů

Využívání spalovacích motorů pro pohon motorových vozidel je spojeno se vznikem škodlivin. Počet vozidel se neustále zvyšuje a s ním se zvyšuje i množství škodlivých látek vypouštěných do ovzduší. Snahou je omezit množství těchto škodlivin. Proto začaly vznikat emisní normy, které upravují množství škodlivých látek ve výfukových plynech silničních vozidel. Motory vozidel uváděných na trh musejí splňovat normy, které jsou v danou dobu platné. Emisní norma definuje množství škodlivin ve výfukových exhalacích.

První norma vznikla v roce 1968 v Kalifornii, odkud se rozšířila do Evropy. Tam byla první norma EHK 15, která vstoupila v platnost v roce 1971. V dnešní době platí v celé Evropě normy označované Euro + číslo. Ty vznikly v roce 1992 a každých 4-5 let se vydává nová norma, která je přísnější než předchozí. Od září 2014 je platná aktuální norma Euro 6 a nová norma Euro 7 je očekávána v roce 2017 nebo 2018. [17]



Obrázek 20 Porovnání norem Euro 1 - Euro 6 - převzato z [18]

Tabulka 3. Množství povolených škodlivin ve výfukových plynech [17]

Rok/norma		CO [g/km]	Nox[g/km]		HC+NOx[g/km]		PM[g/km]		
1992	Euro 1	<b>2.72</b>	<u>0.72</u>	-	-	<b>1.13</b>	<u>1.13</u>	-	<u>0.18</u>
1996	Euro 2	<b>2.20</b>	<u>0.00</u>	-	-	<b>0.05</b>	<u>0.70</u> <sup>1)</sup>	-	<u>0.08</u> <sup>2)</sup>
2000	Euro 3	<b>2.30</b>	<u>0.64</u>	<b>0.15</b>	<u>0.50</u>	-	<u>0.56</u>	<b>0.20</b>	<u>0.05</u>
2005	Euro 4	<b>1.00</b>	<u>0.50</u>	<b>0.08</b>	<u>0.25</u>	-	<u>0.30</u>	<b>0.10</b>	<u>0.025</u>
2009	Euro 5	<b>1.00</b>	<u>0.50</u>	<b>0.06</b>	<u>0.18</u>	-	<u>0.23</u>	<b>0.10</b>	<u>0.005</u> <sup>3)</sup>
2014	Euro 6	<b>1.00</b>	<u>0.50</u>	<b>0.06</b>	<u>0.08</u>	-	<u>0.17</u>	<b>0.10</b>	<u>0.005</u> <sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> 0.90 pro motory s přímým vstřikováním paliva

<sup>2)</sup> 0.10 pro motory s přímým vstřikováním paliva

<sup>3)</sup> Zážehové motor s přímým vstřikováním paliva

**Zážehové motory**

Vznětové motory

### 3 Technické řešení naftového spalovacího motoru

V této kapitole představím základní konstrukci vznětových motorů. U jednotlivých částí se budu zabývat jejich funkcí, materiálem a vlastnostmi.

#### 3.1 Konstrukce motoru

Jednotlivé části motorů můžeme rozdělit do několika skupin: pístní skupina, kliková skupina, kliková skříň a blok válců, hlava válců a rozvodové mechanismy. Palivovou a výfukovou soustavou se budu podrobněji zabývat v kapitolách 3.2 a 3.3.

### 3.1.1 Pístní skupina

Skládá se z pístu, pístního čepu, těsnících a stíracích kroužků a pojistek. Na celou tuto skupinu jsou určité požadavky, které musí splňovat. Musí přenášet síly, které vznikají od tlaku plynů na ojnici. Zachycují boční síly, které vznikly klikovým mechanismem a přenášejí je na stěny válce. Utěsňují spalovací prostor. Nesmí dojít k průniku spalin ze spalovacího prostoru do klikové skříně a zároveň nesmí pronikat motorový olej z klikové skříně do spalovacího prostoru. Zabezpečují odvod tepla ze dna pístu do stěn spalovacího prostoru. [2]



Obrázek 21 Pístní skupina - převzato z [26]

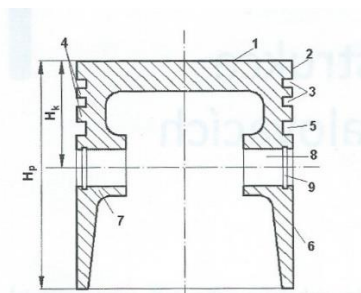
#### Píst

Píst je hlavní součást pístní skupiny. Při práci motoru je zatěžován mechanicky a tepelně. Mechanicky je zatěžován silami, které vznikají od tlaku plynů a také je zatěžován setrvačnými silami, které jsou vyvolané vratným pohybem pístu. Tepelně je namáhán spaliny, které dosahují hodnoty až 2800 K (2526,85 °C). Prostup tepla do pístu záleží na velikosti plochy, na kterou působí spaliny. Zatěžování je rázové. Je způsobené prudkým nárůstem teploty a tlaku ve spalovacím prostoru. Tlak při spalování je u vznětového motoru až 8 MPa.

Konstrukce pístu je rozdělena na několik částí. Skládá se ze dna pístu, žárového můstku, drážek pro pístní kroužky, nálitku pro pístní čep a pláště pístu.

**Dno pístu** je zatěžováno vysokým tlakem, který vzniká spalováním směsi. Tvar dna ovlivňuje kvalitu a průběh spalování. Tloušťka je určena tepelným a mechanickým zatížením. Čím větší tloušťka dna, tím lepší odvod tepla. To má za následek lepší vyrovnávání teploty v oblasti pístních kroužků, které lépe pracují. Pro větší tuhost se vnitřní část pístu většinou vyztužuje žebry.

**Žárový můstek** je část pístu mezi dnem a prvním pístním kroužkem. Zajišťuje, aby se první pístní kroužek nepřehříval. V hlavě pístu jsou vyrobeny drážky pro těsnící a stírací kroužky. Množství těsnících kroužků (drážek v pístu) záleží na typu motoru. Plášť pístu zajišťuje vedení pístu ve válci, rovnoměrné nanášení olejového filmu na stěny válce a odvod tepla do stěn válce a mazacího oleje. Důležitá je délka pláště, na které závisí velikost tření a opotřebení pístu. Určuje klopení pístu a opotřebení pístních kroužků. [2,5]



1 – dno pístu, 2 – horní můstek, 3 – drážky pro těsnící pístní kroužky, 4 – můstky mezi drážkami pro kroužky, 5 – drážka pro stírací pístní kroužek, 6 – plášť pístu, 7 – náledek pro pístní čep, 8 – uložení pístního čepu, 9 – drážka pojistky pístního čepu,  $H_p$  – celková výška pístu,  $H_k$  – kompresní výška pístu.

Obrázek 22 Konstrukční provedení pístu - převzato z [2]

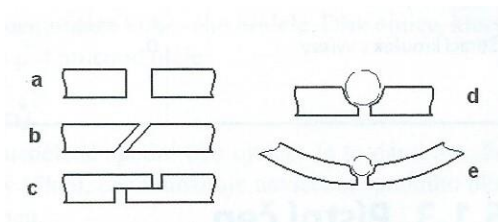
V dnešní době se písty motorů vyrábí z lehkých slitin. Jsou to především slitiny hliníku a křemíku. Křemík snižuje tepelnou roztažnost. Povrchová teplota by neměla překročit cca 320 °C. Další důležitou hodnotou je teplota v drážce prvního pístního kroužku. Tato teplota nesmí přesáhnout teplotu karbonizace použitého oleje. Teplota se pohybuje okolo 220 °C u běžných minerálních olejů. U syntetických olejů je okolo 240 °C – 260 °C. Velikost této teploty je závislá na výšce prvního můstku. U vznětových motorů je tato vzdálenost větší než u benzínových. Největší část tepla z nechlazeného pístu odvádějí pístní kroužky, je to asi 40 % až 60 %. Můstky mezi pístními kroužky odvádějí až 30 % a plášť odvádí přibližně 20 % - 30 %. Písty vznětových motorů jsou více tepelně zatěžovány než písty motorů zážehových. Při vysokých teplotách dochází k tepelné roztažnosti. Proto mezi pístem a válcem musí být určitá vůle. Ta by měla být co nejmenší, aby nedocházelo k průchodu spalín do klikové skříně. Kvůli vyšším teplotám v oblasti dna pístu a pístních kroužků dochází k větší tepelné roztažnosti než ve spodní části. Píst je nutno za studena natvarovat, aby po úplném nahřátí bylo dosaženo kruhového tvaru. [2,5,29]

### Pístní kroužky

Pístní kroužky se dělí na pístní kroužky těsnící a stírací. Těsnící kroužky utěsňují spalovací prostor, aby se spaliny nedostaly do klikové skříně. Slouží také k odvádění tepla z pístu do stěn válce. Stírací kroužky zabraňují průniku oleje do spalovacího prostoru a zároveň vytváří potřebnou tloušťku mazací vrstvy. Přebytečný olej otírají a přivádí zpět do klikové skříně. Každý pístní kroužek má zámek. Jsou různé druhy zámků. Může být kolmý – nejčastěji používaný, šikmý nebo tvarový. Vůle v zámku umožňuje nasazení pístního kroužku na píst a tepelnou dilataci. První kroužek má největší vůli, ostatní kroužky mají menší. Boční plocha kroužku zajišťuje těsnost proti úniku oleje a spalín. Pro zvýšení životnosti a zlepšení kluzných podmínek se povrchově upravují. Na povrch prvního kroužku se elektro – chemicky nanáší chrom. Nejnovější povrchovou úpravou pístních kroužků je CKS. To je keramický materiál, který obsahuje chrom. Ostatní kroužky se upravují fosforováním speciální litiny.

Nejčastější poruchou je snížení nebo úplná ztráta těsnosti kroužku. To je způsobené opotřebením po obvodu nebo zvětšením vůle kroužku. Pokud dojde k opotřebení může docházet k pronikání spalín do prostoru klikové skříně, oleje do spalovacího prostoru a ke snižování kompresního tlaku. Pro správnou funkci pístních kroužků je potřeba nastavení zámků kroužků o 180°. [2,5,29]





Obrázek 23 Konstrukční provedení pístních zámků – převzato z [2]

### Pístní čep

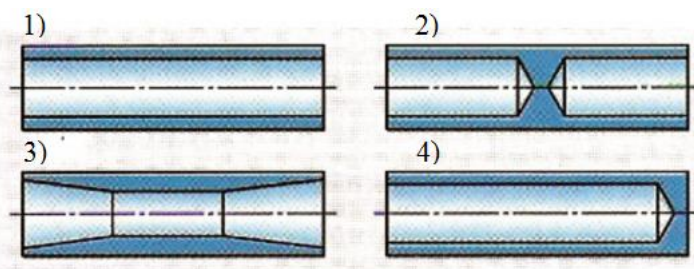
Pístní čep zajišťuje přenos silového účinku mezi pístem a ojnicí. Je namáhán únavově. Na čep jsou kladeny určité požadavky. Hlavními požadavky jsou malá hmotnost, odolnost vůči rázům, dostatečná pevnost při střídavém zatížení, velká tuhost a snadná vyměnitelnost. Čep je celkově namáhán setrvačnými silami způsobenými hmotností pístu a pístních kroužků a silami, které vznikají od tlaků plynů. Většinou bývá volně uložen v nálitcích v pístu i v oku ojnice. To je označováno jako plovoucí uložení. Aby nedošlo k posunutí čepu a následnému poškození stěny válce, je pístní čep zajištěn pojistnými kroužky. Malé průměry se zajišťují drátěnými kroužky.

Čepy se vyrábí z nitridační a cementační oceli. U vznětových motorů jsou zatěžovací síly na píst větší než u zážehových, a proto jsou rozměry čepu pro stejnou velikost pístu větší. Vnější plocha čepu se cementuje a kalí do hloubky 0,5 mm - 1 mm. Povrch se následně brousí a lapuje. Vnitřní plocha je také cementovaná a kalená. Čelní plochy jsou broušeny z důvodu snížení opotřebení axiálních pojistek.

Pístní čep může mít několik tvarů. Nejčastější použití mají čepy tvaru trubky. Je to také nejjednodušší typ. Dalším typem je pístní čep s kuželovými dutinami. Jeho výroba je složitější. Jeho výhodou je, že má stejnou pevnost jako předchozí typ, ale má menší hmotnost. [2,5,29]

Druhy pístních čepů [28]:

- 1) pístní čep s válcovým otvorem – nepoužívanější
- 2) pístní čep s uzavřeným otvorem uprostřed – snížení ztráty u dvoudobých motorů
- 3) pístní čep s rozšířenými konci otvoru do kužele – stejná pevnost, ale menší hmotnost
- 4) pístní čep s uzavřeným otvorem na jenom konci – snížení ztráty u dvoudobých motorů



Obrázek 24 Druhy pístních čepů - převzato z [28]

### 3.1.2 Kliková skupina

Kliková skupina je tvořena ojnicí, klikovým hřídelem, ložisky a těsněním klikového hřídele, setrvačником a tlumičem torzních kmitů.

## Ojnice

Ojnice přenáší síly mezi klikovým hřídelem motoru a pístem. Svým výkyvem přeměňuje přímočarý vratný pohyb pístu na otáčivý pohyb klikového hřídele okolo klikového čepu. Je namáhána únavově proměnlivou silou tah – tlak. Mezi požadavky na ojnicí patří malá hmotnost, ale musí být zajištěna vysoká tuhost ojničních ok.

Ojnice je tvořena ojničním okem pro pístní čep, dříkem ojnice a hlavou ojnice pro klikový čep. V oku ojnice je zalisované pouzdro pro uložení pístního čepu. Oko ojnice se provádí nedělené. Montáž pístního čepu se provádí současným protažením pístem i ojnicí. Ojnice čtyřdobých motorů má na rozdíl od ojnice dvoudobých motorů dělenou hlavu. Je to z toho důvodu, že u čtyřdobých motorů je klikový hřídel většinou nedělený. Hlava a její víko jsou spojeny ojničními šrouby. Příčný profil dříku je většinou ve tvaru I nebo ve tvaru H. Mezi dříkem a ojničním okem nebo ojniční hlavou musí být zajištěn hladký přechod. Musí být zaobleny všechny hrany a provedena důkladná kontrola na výskyt trhlinek.

Ojnice se vyrábí z velmi kvalitních materiálů, např. z chromniklové oceli. U závodních automobilů se využívají různé titanové slitiny. Vyrábí se kováním v zápustce. Může se vyrábět jako slinutý výkovek z legované práškové oceli. Takto vyrobená ojnice umožňují snížení hmotnosti až o třetinu, v porovnání s ocelovou kovanou ojnicí. [2,5,29]



Obrázek 25 Ojnic - převzato z [30]

## Klikový hřídel

Klikový hřídel zajišťuje převod přímočarého vratného pohybu na pohyb rotační. Skládá se z hlavních čepů, klikových čepů a ramen kliky. Hlavní čepy rotují v klikové skříně v ložiskových pánvích. Na klikových čepch je uložena ojnice. Rameno kliky je mezi dvěma čepy. Na volném konci je uložení kola pro pohon rozvodového mechanismu, řemenice pro pohon alternátoru, čerpadla chladicí kapaliny, ventilátoru chlazení, kompresoru klimatizace a dalších. Na výstupním konci je připevněna příruba pro zajištění setrvačnicku. Setrvačnick, který je centrální částí spalovacího motoru, je vystaven mimořádnému a komplikovanému působení sil s negativním vlivem na rovnoměrnost jeho otáčivého pohybu a mechanické namáhání jeho materiálové struktury. Jsou to především setrvačné síly, které vznikají změnou směru síly působící v ojnicí. Ty jsou z velké části eliminovány protizávažími umístěnými proti klikovému čepu (viz obr. klikového hřídele). Druhým velice nepříjemným jevem jsou tzv. torzní kmity, což je vlastně namáhání klikového hřídele na krut střídavě se opakující ve směru a proti směru jeho otáčení s vysokou frekvencí a nepatrnou úhlovou výchylkou. Jejich frekvence je přímo úměrná počtu otáček motoru. Jsou schopné vyvolávat nepříjemné rezonance některých částí motoru a vozidla. Nejzávažnější je jejich velmi nepříznivé působení na nervový systém člověka a jeho psychiku. Pro snížení amplitudy jejich kmitání se používají

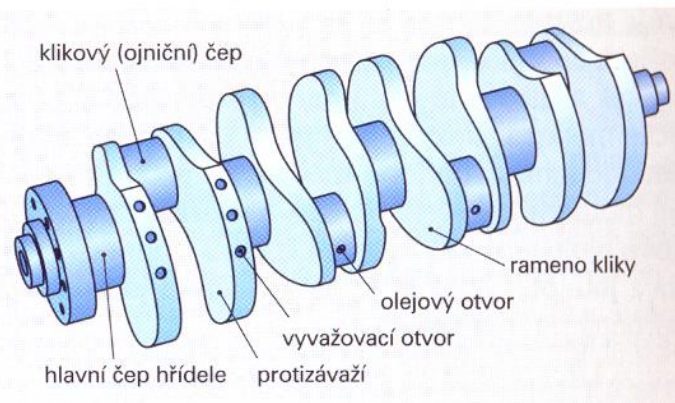
různé součásti a zařízení, např. dvoumotová řemenice na opačném konci hřídele proti setrvačnicku s elastickým nebo viskózním tlumením, hydrodynamické tlumiče a v poslední době rozšířené dvoumotové setrvačníky, které využívají rozdělení hmoty setrvačnicku na dvě proti sobě působící části s tlumícím účinkem ocelových vinutých pružin.

Uložení klikového hřídele do klikové skříně je zajištěno hlavním čepem. Rozměry tohoto čepu jsou dány požadovanou pevností, velikostí zatěžujícího tlaku na povrch čepu a namáháním od točivého momentu. Klikový čep přenáší síly z ojnice na klikový hřídel. Hlavní čep a klikový čep spojují rameno klikového hřídele. To má složitý tvar, a proto se neobrábí. Součástí ramene mohou být i protizávaží. Ta slouží k odlehčení ložisek od zatížení setrvačnými silami.

Uspořádání klikového hřídele závisí na konstrukci a počtu válců, počtu hlavních ložisek, konstrukčním uspořádání válců, pořadí zapalování, materiálu klikových hřídelů a zatížení silami a momenty, které jsou dané velikostí motoru.

Klikový hřídel je zatěžován působením sil od tlaků plynů a setrvačných sil. Tyto síly vyvolávají na hřídeli pružné kmity. Ty ji pak namáhají na kruh, ohyb, tah a tlak. Pro vyvážení setrvačných sil a momentů je rozhodující uspořádání ramen a vývažků na klikovém hřídeli.

Klikové hřídele se vyrábějí buď lité, ocelové kované nebo skládané. Pro výrobu se používá nitridační ocel, šedá litina nebo ocelolitina, uhlíková nebo slitinová ocel. Při použití uhlíkové nebo slitinové oceli se musí kluzné plochy povrchově kalit. [2,5,31]



Obrázek 26 Klikový hřídel - převzato z [31]

### Ložiska klikového hřídele

U čtyřdobých motorů se pro uložení klikového hřídele ve skříně používají kluzná ložiska. Ve většině případů jsou dělená. Těleso je součástí klikové skříně a víko ložiska se k němu připevňuje šrouby. Do otvoru v tělese a víku se vkládají pánve ložiska. Proti posunutí a pootočení jsou zajištěny pánve ložiska výstupky. Ložiska jsou mazána motorovým olejem. Ten je přiváděn z olejového čerpadla. Pro utěsnění oleje z klikové skříně do okolí se používají těsnicí kroužky. [5]

### Setrvačnick

Setrvačnick akumuluje energii potřebnou k překonání pasivních zdvihů motoru. Zlepšuje rovnoměrnost chodu a zajišťuje minimální kolísání úhlové rychlosti. Čelní plocha setrvačnicku slouží jako hnací část spojky a dosedá na třecí kotouč spojky. Na obvodu setrvačnicku je ozubený věnec, který slouží pro silový přenos a převod do pomala, pro roztáčení motoru po-

mocí spouštěče. Do věnce se zasouvá pastorek. Vzájemná poloha setrvačnicku s hřídelí je zajištěna aretačním kolíkem. Setrvačnick musí být přesně staticky a dynamicky vyvážený. Někteří výrobci předepisují společné vyvážení setrvačnicku s klikovým hřídelem. [5]

### 3.1.3 Kliková skříň, blok válců

Kliková skříň slouží k uložení klikového hřídele. V začátcích se kliková skříň odlévala samostatně a pak k ní byly přišroubovány válce motoru. V současnosti se kliková skříň odlévá společně s bloky válců. Tento odlitek se nazývá motorový blok. Oddělená kliková skříň od bloku válců se dnes využívá pouze u motorů, které jsou chlazeny vzduchem. Motorový blok se využívá u motorů, které jsou chlazeny kapalinou. V těchto případech slouží jako hlavní nosný prvek, na který jsou připevněny další části motoru. Na blok motoru dosedá hlava válce.

Podle dosedací plochy bloku rozlišujeme bloky s otevřeným chladicím prostorem a s uzavřeným chladicím prostorem. U otevřených bloků je zajištěn dokonalý odvod tepla. Nevýhodou je nižší tuhost uložení válců a velké namáhání těsnění pod hlavou válců. U vznětových motorů se používají uzavřené bloky. Ty mají větší tuhost.

Nejčastěji se bloky motorů vyrábějí z šedé litiny nebo hliníkových slitin. Bloky z hliníkových slitin mají menší hmotnost a díky dobré tepelné vodivosti vydrží větší zátěž. Nevýhodou je až 2,5 x větší cena oproti blokům z šedé litiny. [2,5]

### 3.1.4 Hlava válců

Hlava motoru dohromady s dnem pístu vytváří spalovací prostor. Může být jako jeden celek nebo samostatně pro každý válec motoru. U motorů chlazených vzduchem se nejčastěji používají samostatné hlavy pro každý válec. U motorů chlazených kapalinou se využívá hlava, která je vcelku. Hlava motoru dosedá na blok motoru.

Možnosti materiálu jsou stejné jako u bloku motoru, tj. šedá litina nebo slitiny hliníku. Šedá litina má větší pevnost, tuhost a nižší výrobní náklady oproti slitinám hliníku. Nevýhodou je malá tepelná vodivost a vysoká hmotnost. Tyto nevýhody se nepříznivě projevují u osobních automobilů, proto se v dnešní době používají převážně slitiny hliníku. Používají se i v případě, pokud je blok motoru vyroben z šedé litiny. [2,5]

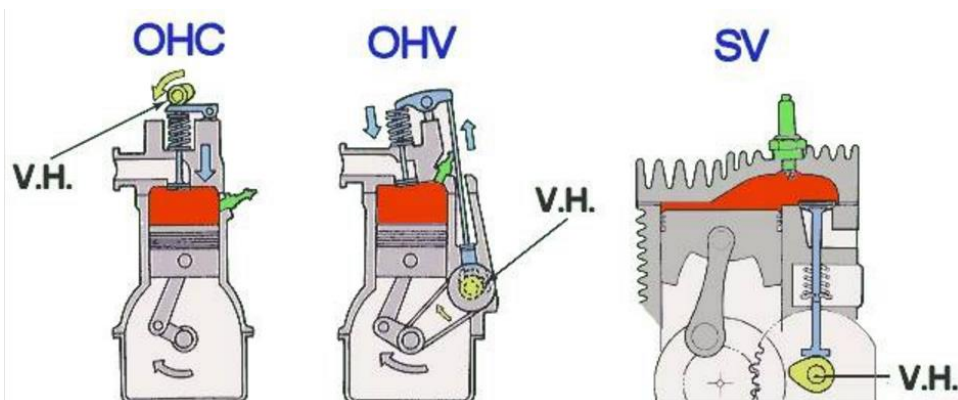
### 3.1.5 Rozvodové mechanismy

Rozvodové mechanismy zajišťují odstranění spalin ze spalovacího prostoru a naplnění válce čerstvou směsí paliva a vzduchu. To je uskutečňované otevíráním a zavíráním prostoru ve vhodném časovém intervalu. Podle konstrukce rozeznáváme ventilové a šoupátkové rozvody. Ventilové rozvody dokonale utěsňují pracovní prostor motoru. Jsou jednodušší na výrobu a opravu. Umožňují vymezit vůli v rozvodu. Šoupátkové rozvody jsou oproti ventilovým bezhlučné a umožňují velké průtočné průřezy. Velkou nevýhodou je přehřívání a následné zadírání šoupátek. Jsou nespolehlivé a mají nízkou životnost. V dnešní době už se nepoužívají.

Otevírání a zavírání ventilů může být mechanické, hydraulické nebo elektromagnetické. Hydraulické a elektromagnetické otevírání a zavírání ventilů je zatím ve stádiu ověřování. Oba systémy se setkávají s řadou technických chyb. Základem mechanického systému je vačkový hřídel. Vačka řídí otevírání a zavírání ventilů. Rozlišujeme tři základní druhy rozvodů.

Druhy rozvodů jsou OHC, OHV a SV. OHC je označení pro rozvody, kde vačkový hřídel je umístěn nad hlavou válců. Ventily jsou umístěny v hlavě válce. Další možnosti

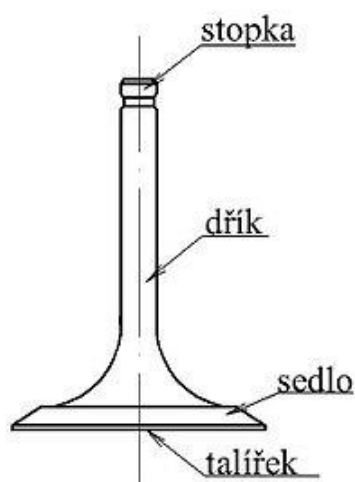
OHC je DOHC, kde jsou dva vačkové hřídele místo jednoho. OHV je označení pro rozvody, kde vačkový hřídel je v bloku motoru a ventily jsou v hlavě válce. SV jsou rozvody, kde vačkový hřídel je umístěn v bloku motoru a ventily jsou po straně válce. OHC rozvody jsou v dnešní době nejvíce používané. Méně používané jsou OHV rozvody. SV rozvody jsou nejstarší a v dnešní době se již nepoužívají. [2,5,32]



Obrázek 27 Rozvody – převzato z [32]

### 3.1.6 Ventily

Ventily jsou součástí spalovacího prostoru a zaručují jeho těsnost. Zároveň musí klást minimální odpor proudícím plynům. Jsou namáhány vysokými teplotami. U naftových motorů se teploty pohybují v rozmezí přibližně 600 – 650 °C. Na sací ventil působí menší teploty, protože je ochlazován čerstvou náplní. Při vysokých teplotách může dojít k propálení ventilů v sedlech. Na ventily jsou určité požadavky. Musí mít dobrou tepelnou vodivost a odolnost proti opotřebení. Sací ventily jsou vyráběny z chromokřemičité oceli. Výfukové ventily jsou většinou vyráběny jako bimetalové. Je to z toho důvodu, že jsou více teplotně namáhané. Nejčastěji je talíř ventilu vyráběn z chromokřemičité oceli a dřík z chrommanganové oceli. Ventil se skládá z hlavy, dříku a stopky. Na stopce je drážka, která slouží pro upevnění misky pomocí klínek. Do misky je zasazena jedna nebo dvě pružiny. Ta přitlačuje ventil. Dřík ventilu slouží jako vodící část. Podrobná konstrukce ventilu se nachází v kapitole 3.5. [2,5]



Obrázek 28 Části ventilu – převzato z [5]

## 3.2 Palivová soustava

Rozlišujeme dva základní typy spalovacích prostorů motoru. Buď dělený nebo nedělený. Motory s neděleným spalovacím prostorem jsou s přímým vstřikováním pali-

va. Motory s děleným spalovacím prostorem jsou označovány jako komůrkové. V dnešní době se používá nedělený spalovací prostor.

### **Motor s přímým vstřikováním paliva**

Tyto motory mají ekonomičtější provoz a snadnější spouštění za nízkých teplot. Dříve se používaly pouze u nákladních automobilů, ale dnes se již používají všude. Nahradily motory s děleným spalovacím prostorem. Snahou je dosáhnout co nejjemnějšího rozprášení paliva při přímém vstřiku. Proto jsou velké nároky na kvalitu paliva a vstřikovací zařízení. Aby došlo k velmi jemnému rozprášení, jsou vstřikovací otvory trysek velmi malé. To je nevýhodou, protože může snadno dojít k jejich ucpaní.

### **Komůrkový motor**

Oproti motorům s přímým vstřikováním jsou komůrkové motory tišší a mají měkčí chod. To je způsobené pomalým nárůstem tlaku nad pístem. Proto mají větší spotřebu paliva. Výhodou je dobré promíchání paliva se vzduchem. To zajišťuje intenzivní víření v komůrce. V dnešní době se již nepoužívají. [2,5]

## **3.2.1 Palivová soustava**

Podle systému vstřikování se může palivová soustava částečně lišit. Skládá se z palivové nádrže, palivového potrubí, palivového filtru a palivového čerpadla.

### **Palivová nádrž**

Používá se k ukládání paliva. Musí zaručovat těsnost a musí být okolná vůči korozi. Při průjezdu zatáčkami, nárazech nebo náklonech nesmí docházet k úniku paliva. Aby při nehodách bylo zabráněno vznícení paliva, je nádrž umístěna odděleně od motoru.

### **Palivové potrubí**

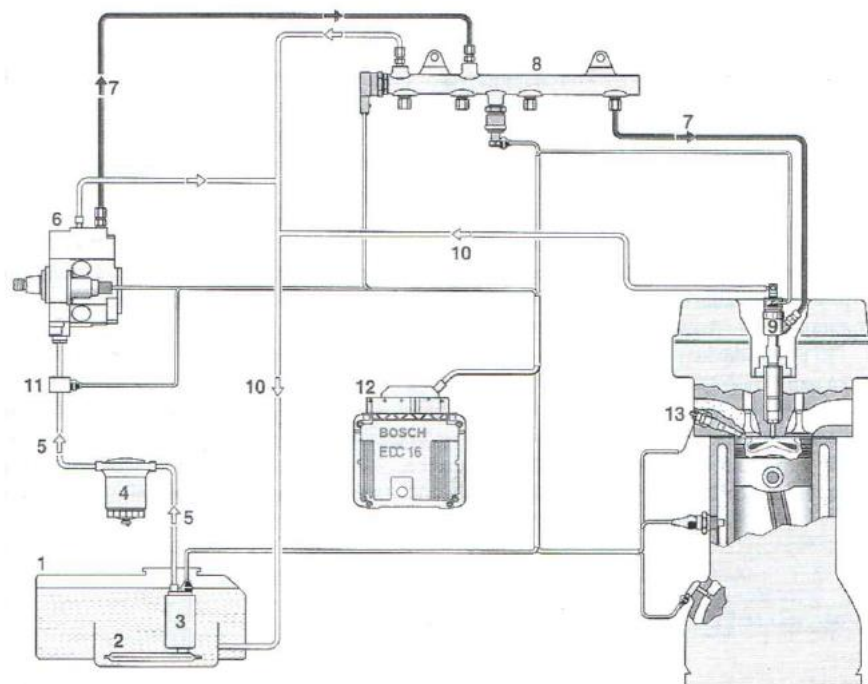
Palivo nesmí být dopravováno samospádem. Palivové potrubí musí být provedeno tak, aby se odkapávající nebo odpařující palivo nemohlo shromažďovat. Musí být navrženo tak, aby nedošlo k jeho poškození. Konstrukce potrubí nesmí být ovlivněna zatáčením vozidla nebo pohybem motoru.

### **Palivový filtr**

Palivový filtr snižuje znečištění pevnými částicemi a odlučuje volnou vodu, aby nedocházelo ke korozi. Každý palivový filtr musí být přizpůsoben danému vstřikovacímu systému a musí být vyroben s vysokou přesností.

### **Palivové čerpadlo**

Palivové čerpadlo nasává palivo z nádrže a dopravuje ho k vysokotlakému čerpadlu. U rotačních vstřikovacích čerpadel a částečně i u systému Common Rail jsou palivová čerpadla spojována s vysokotlakým čerpadlem. Pro dodávku paliva do systému Common Rail u osobních automobilů se stále více využívají elektrická palivová čerpadla. Ty mohou být v provedení intank nebo inline. Intank znamená, že je čerpadlo vestavěno v palivové nádrži. Inline znamená, že čerpadlo je vestavěno v palivovém potrubí přímo v přívodu k vysokotlakému čerpadlu.



1 – palivová nádrž, 2 – předřadný filtr, 3 – podávací čerpadlo, 4 – palivový filtr, 5 – nízkotlaká palivová potrubí, 6 – vysokotlaké čerpadlo, 7 – vysokotlaká palivová potrubí, 8 – vysokotlaký zásobník (Rail), 9 – vstříkovač, 10 – zpětné palivové potrubí, 11 – snímač teploty paliva, 12 – řídicí jednotka, 13 – kolíková žhavicí svíčka

Obrázek 29 Palivová soustava [2]

### 3.2.2 Systém vstříkovaní paliva

Systém vstříkovaní můžeme rozdělit podle použitého vysokotlakého čerpadla. Vstříkovací čerpadla jsou pístová a podle konstrukce je můžeme rozdělit do 3 skupin.

- čerpadla, které mají samostatnou vstříkovací jednotku pro každý válec. Jako samostatná jednotka je označován píst a válec.
- čerpadla, která mají jednu vstříkovací jednotku pro všechny válce.
- čerpadlo s akumulátorem. To je označováno jako Common Rail.

Čerpadla se samostatnou vstříkovací jednotkou lze dále rozdělit podle umístění vstříkovacích jednotek a jejich uspořádání na [2,5]:

- Řadová čerpadla.

Někdy jsou označována také jako bloková. V tomto případě jsou vstříkovací jednotky uspořádány do jednoho bloku a pohyb pístu je ovládaný přes vlastní vačkový hřídel čerpadla.

- Čerpadla s cizím pohonem.

Vstříkovací jednotky jsou umístěny samostatně pro každý válec v bloku motoru a jsou poháněné vačkovým hřídelem motoru. Jsou to motory s rozvodem OHV.

- Sdružené vstříkovací jednotky.

Vstříkovací jednotka je sdružená se vstříkovačem do jednoho celku a je umístěna v hlavě válce motoru. Pohyb vstříkovacího pístku je zajištěn pohybem vačky motoru s rozvodem OHC.

## **Řadové vstřikovací čerpadlo**

Řadové vstřikovací čerpadlo má pro každý válec motoru samostatnou jednotku. Tu tvoří píst čerpadla a válec čerpadla. Píst se pohybuje směrem dodávky nahoru pomocí působením vačkového hřídele a vrací se zpátky dolů pomocí pružiny pístu. Jednotky jsou uspořádány v řadě, jak vyplývá z názvu čerpadla.

Zdvih pístu se nemění. Ve chvíli, kdy horní hrana pístu uzavře sací otvor, dochází k vytvoření vysokého tlaku. Tato chvíle je označována jako začátek dodávky. Píst se pohybuje nahoru a zvyšuje tím tlak paliva. Tryska se otevře a dochází k vstříknutí paliva. Ve chvíli, kdy je sací otvor uvolněn, tlak poklesne a palivo může odtékat. Jehla trysky se uzavře. Tímto je vstřík dokončen. Velikost dráhy pístu mezi otevřením a uzavřením sacího otvoru je označována jako využitelný zdvih.

### **Výtlačný ventil**

Jeho funkcí je zabránit poklesu tlaku ve vstřikovacím potrubí na nulovou hodnotu. To by způsobilo výraznou časovou prodlevu nárůstu tlaku pod tryskou. To by mělo za následek proměnlivý začátek vstříku. Výtlačný ventil je umístěn na výstupu čerpadla.

### **Vstřikovač**

Vstřikovač slouží k rozprášení paliva do spalovacího prostoru válce. Skládá se z trysky a jejího držáku. Palivo je do vstřikovačů přiváděno vysokotlakou trubkou přes šroubení. Palivo je přiváděno do prostoru pod jehlou trysky. Tryska je připevněna k tělesu držáku vstřikovače pomocí matice. Poloha trysky je určena kolíkem nebo ryskou ve trysce i tělese. Jehlu v sedle drží tlačný čep, na který působí síla vyvolaná předpětím pružiny. Velikost otevíracího tlaku trysky lze upravovat velikostí předpětí pružiny. Předpětí pružiny lze upravovat pomocí seřizovacího šroubu nebo výměnných podložek. Utěsnění vstřikovače je zajištěno speciální podložkou. Ta zajišťuje nejenom těsnost, ale i tepelnou ochranu.

### **Trysky**

Trysky jsou otevřené nebo uzavřené. Uzavřené trysky se dále dělí na čepové a otvorové. Otvorové trysky mohou být jednootvorové nebo víceotvorové.

*Otevřené trysky* se používají pouze výjimečně. Mohou být u velkých motorů se sdruženými vstřikovači. Otevřené trysky nemají uzavíraný výstřikový otvor jehlou trysky, mají ho otevřený.

*Uzavřené trysky* mají uzavíraný výstřikový otvor jehlou trysky. Ta je dotlačovaná do sedla pružinou vstřikovače.

*Čepové trysky* se používají u komůrkových motorů. Tlak potřebný k otevření trysek se pohybuje okolo 8 MPa až 12,5 MPa. Jehla trysky má na dolním konci vytvarovaný vstřikovací čep. Ten zasahuje až do otvoru trysky. Vstřikovací paprsek lze měnit různými rozměry a tvary vstřikovacího čepu. Existuje škrťací čepová tryška, která má zvláštní tvar. Ten částečně určuje předvstřík. Ve chvíli, kdy se jehla trysky zvedne, uvolní se nejprve velmi úzká kruhová štěrbin. Ta propouští velmi malé množství paliva a vzniká škrťací účinek. Při dalším zvednutí dojde ke zvýšení průtočného průřezu a dojde ke vstříknutí hlavní části paliva. Tímto způsobem dochází k pomalému nárůstu tlaku ve spalovacím prostoru. Díky tomu dochází k měkčímu chodu motoru a rovnoměrnějšímu spalování.

*Otvorové trysky* se využívají u motorů s přímým vstřikováním paliva. S touto tryskou se dosahuje velmi jemného rozprášení. Tlak potřebný k otevření trysek se pohybuje okolo



15 MPa až 25 MPa. Jehla trysky je na dolním konci kuželovitě zbroušená a dosedá do kuželovité plochy v držáku trysky. Dosahuje se zde výborné těsnosti. Otvorové trysky dělíme na jednotvorové a víceotvorové. Jednotvorové trysky mají pouze jeden výstřikový otvor ve směru osy trysky nebo na boku. Víceotvorové trysky mají 3 až 8 výstřikových otvorů. Ty jsou uspořádány většinou symetricky. Průměr vstřikovacího otvoru ovlivňuje dolet a tvar vstřikovaného paprsku paliva. [2,5]

### **Rotační čerpadla**

Rotační čerpadla mají pouze jednu vysokotlakou část čerpadla pro všechny válce. Palivo do vysokotlakého prostoru přepravuje lopatkové čerpadlo. Vytváření vysokého tlaku zajišťuje axiální píst nebo více radiálních pístů. Rotující centrální rozdělovací píst slouží k otevírání a zavírání řídicí drážky a řídicích kanálků. Dobu vstřiku je možné měnit vysokotlakým elektromagnetickým ventilem nebo regulačním šoupátkem. Rotační vstřikovací čerpadla mohou být s axiálním pístem nebo s radiálními písty.

### **Vstřikovací čerpadla s axiálním pístem**

Základem je rotující axiální vačka, která je poháněna motorem. Na dolní straně axiální vačky je tolik výstupků, kolik je počtu válců motoru. Výstupky se odvalují po kladkách unašeče. U rozdělovacího pístu vyvolávají točivý a zdvihový pohyb. V průběhu jedné otáčky hnacího hřídele dojde k tolika zdvihům pístu, kolika válcům motoru je potřeba dodat palivo.

Výchozí poloha je ta, když se píst nachází v dolní úvratí. V tu chvíli je sací kanál otevřený. Palivo protéká z vnitřního prostoru čerpadla do vysokotlakého prostoru přes vtokovou drážku pístu a sací kanál. Píst se začne posouvat do horní úvratě. Dojde k natočení pístu, tím se pootočí vtoková drážka a přeruší se přívod paliva do vysokotlakého prostoru. Zároveň dojde k natočení výtlačné drážky pístu naproti výtlačnému kanálu, který se nachází v rozdělovací hlavě. Proces naplňování paliva je tak ukončen a začíná výtlač. Při pohybu z dolní úvratě do horní stlačuje píst palivo a dochází ke zvyšování tlaku. Při dosažení otevíracího tlaku výtlačného ventilu začne proudit palivo vstřikovacím potrubím k trysce. Ve chvíli, kdy je ve výtlačném pístu otevřený příčný kanál pomocí regulační objímky, dojde k ukončení výtlačku paliva. Palivo vytéká přes příčný kanál do prostoru čerpadla. Následkem toho se tlak ve vysokotlakém prostoru snižuje. Sací kanál se otevře, když se výtlačný píst nachází těsně před horní úvratí. Píst se začne pohybovat do dolní úvratě, vysokotlaký prostor se začne plnit palivem. Výtlačná drážka je uzavřena, protože natočení pístu neodpovídá otvoru v rozdělovací hlavě. Tento postup se znova opakuje pro další válce motoru.

### **Vstřikovací čerpadla s radiálními písty**

Vstřikovací čerpadla s radiálními písty už nemají axiální vačku. Místo toho zvyšování tlaku zajišťuje vačkový prstenec a dva až čtyři radiální písty. Tato čerpadla dosahují vyšších vstřikovacích tlaků než vstřikovací čerpadla s axiálním pístem. Vstřikovací tlak může být až 180MPa. K dosažení takových tlaků musí být zajištěna vysoká mechanická pevnost. Začátek a trvání vstřiku je řízeno elektromagnetickým ventilem.

### **Elektronická regulace rotačních čerpadel**

Existují dva způsoby elektrické regulace. První způsob spočívá v nahrazení mechanické regulace elektromagnetickým prvem. Tento způsob je převážně u čerpadel s axiálním pístem. Druhý způsob je založen na umístění vysokotlakého elektromagnetického ventilu na výstupu vstřikovacího čerpadla. Ten řídí množství paliva ke vstřikovačům.

Tímto způsobem jsou řízena všechna rotační čerpadla s radiálními písty a některá rotační čerpadla s axiálním pístem. [2]

### **Sdružená vstřikovací jednotka**

Sdružená vstřikovací jednotka je také označována zkratkou UIS (Unit Injektor System). Jedná se o vstřikovací čerpadlo, které tvoří se vstřikovací tryskou jednu jednotku. Tato jednotka je v hlavě válce pro každý válec motoru. Pohon jednotky tvoří zdvihátko nebo vahadlo od vačkového hřídele motoru. Systémem UIS se dosahuje daleko vyšších vstřikovacích tlaků než u rotačních nebo řadových vstřikovacích čerpadel. Vstřikovací tlak může dosahovat až 220 MPa. Vstřik je řízen pomocí vysokotlakého elektromagnetického ventilu. Ve chvíli kdy se píst vstřikovače pohybuje nahoru, proudí palivo do prostoru pod pístem přes otevřený elektromagnetický ventil. Po obrácení směru pohybu se palivo vrací do plnicího okruhu. To probíhá do doby, než se elektromagnetický ventil uzavře. Po uzavření začne stoupat tlak v prostoru pod pístem. Ve chvíli, kdy síla působí na jehlu trysky, dojde k překonání síly pružiny a dojde ke vstřiku. Vstřik trvá do doby, než se otevře elektromagnetický ventil. To umožní proudění paliva do plnicího kanálku. Síla poklesne a pružina uzavře vstup paliva do válce.

V dnešní době je nejnovější generace **UIS3**. Byla prvně zpracovaná firmou Bosch. Systém UIS3 umožňuje vstřikovací tlaku až 230 MPa. Pomocí dvou ovladačů může být vstřikování velmi proměnlivě upravováno. K tomuto účelu jsou využívány magnetické ventily, které jsou velmi rychle spínací. [2,5]

### **Sdružený vstřikovací systém**

Tento systém je označován jako UPS (Unit Pump System). Tento stavebnicový systém pracuje na stejném principu jako UIS. Rozdílné od systému UIS je kombinace držáku trysky a vstřikovacího čerpadla. Ty jsou propojeny krátkým vysokotlakým vedením, které je přizpůsobeno jednotlivým komponentám systému. Doba vstřiku a začátek vstřiku jsou regulovány elektricky. Stejně jako u UIS je regulování zajištěno pomocí vysokotlakého elektromagnetického ventilu. [2]

### **Vstřikovací systém s tlakovým zásobníkem**

Vstřikovací systém s tlakovým zásobníkem je označován jako „**Common Rail**“. U Common Railu je oddělené vytváření tlaku a vstřikování. Vysokotlaké čerpadlo vytváří a reguluje vstřikovací tlak bez ohledu na otáčky motoru nebo vstřikované množství. Tlak je připraven v zásobníku tlaku, označovaném jako „zásobník rail“. Ten umožňuje flexibilitu při vstřikování. Pro každý válec je umístěn vstřikovač. Vstřik je řízen pomocí otevření a uzavření vysokotlakého elektromagnetického ventilu. Nejdůležitější součásti jsou vysokotlaké čerpadlo a vstřikovač.

### **Vysokotlaké čerpadlo**

Úkolem vysokotlakého čerpadla je dodání dostatku paliva pod tlakem. Obsahuje rezervu paliva. Ta je potřebná k rychlejšímu nastartování a pro rychlejší nárůst tlaku v zásobníku Rail. Díky zásobníku nemusí být palivo v průběhu vstřikování stlačované. Vysokotlaké čerpadlo je poháněno motorem přes spojku, ozubené kolo, řetěz nebo ozubený řemen. Podávací čerpadlo dodává palivo do vysokotlakého čerpadla. Palivo jde přes filtr, který má odlučovač vody. Ve chvíli, kdy se píst čerpadla pohybuje dolů, palivo je přiváděno vstupním ventilem vysokotlakého čerpadla. Když píst překročí dolní úvrat', dojde k zavření vstupního ventilu a palivo nemůže uniknout. Dojde ke kompresi. Vznikne tlak, který otevře

výstupní ventil a palivo se přesune do vysokotlaké části okruhu. Píst dodává palivo do té doby, dokud nedosáhne horní úvratě. Poté dojde k poklesu tlaku a ventil se uzavře. Ve chvíli kdy tlak klesne na hodnotu podávacího tlaku, vstupní ventil se otevře. Celý cyklus se opakuje.

### Vstřikovač

Vstřikovače jsou upevněny v hlavě válců pomocí upínacích prvků. U systému Common Rail jsou vstřikovače propojeny s vysokotlakým zásobníkem Rail pomocí krátkých vysokotlakých palivových potrubí. Utěsnění vstřikovačů se spalovacím prostorem je provedeno měďnými těsnícími položkami. U těchto vstřikovačů je typické, že tvorba vstřikovacího tlaku nezávisí na vstřikovaném množství ani na otáčkách motoru. Vstřik je řízen elektricky. Jsou dva typy vstřikovačů: vstřikovač s elektrickým ventilem nebo vstřikovač s piezoelektrickým členem.

### Čtvrtá generace Common Railu

Firma Bosch vyvinula již čtvrtou generaci systému Common Rail. V tomto systému je použit hydraulicky posilovaný vstřikovač nafty „Hydraulic Amplified Diesel Injector“. Tento vstřikovač (HADI) pracuje s převodovým pístem. Ten zvyšuje systémový tlak 1:2. Tímto způsobem lze dosáhnout vstřikovacího tlaku až 250 MPa. Je tedy možné pracovat s nižším tlakem a dosáhnout požadovaného tlaku. Palivo není vstřikováno rázem, ale postupným zvyšováním tlaku. Tímto způsobem se zlepšila příprava směsi a snížil se vznik nedokonalého spalování. To má za následek snížení množství škodlivin. Čtvrtá generace umožňuje, stejně jako třetí, vícenásobné vstřikování. [2]

#### 4. Generace Common Rail pro osobní automobily Hydraulically Amplified Diesel Injector (HADI)

**Znaky:**

- systémový tlak až 1350 bar
- posílení tlaku = 1 : 2
- vstřikovací tlak až 2500 bar
- lineárně rostoucí průběh tlaku
- identický konstrukční prostor jako injektor 2. generace
- Bosch SOP 2008



Obrázek 30 Čtvrtá generace common rail [2]

### 3.3 Výfukový systém

Výfukový systém obecně zajišťuje odvod spalin z válců motoru do okolního prostředí. Spaliny nesmí pronikat do kabiny vozidla. V dnešní době je snahou využívat tepelnou a pohybovou energii výfukových plynů. Výfukový systém musí splňovat určité požadavky. Musí být schopný tlumit hluk, který vzniká spalováním i silnými impulsy výfukových plynů. Tyto impulsy vznikají nepravidelným prouděním plynů. Velikost hluku nesmí překročit určitou hladinu. Ta je daná normou pro každý typ vozidla. Při tlumení musí docházet k co nej-

menšímu omezení proudů plynů, aby se nesnižoval výkon motoru. V dnešní době se výrobci snaží o snížení obsahu škodlivin ve výfukových plynech. Toho lze dosáhnout konstrukčními nebo systémovými úpravami. Ty nesmí omezovat proudění plynů, aby nedocházelo ke snížení výkonu.

### 3.3.1 Konstrukce výfukového systému

Konstrukce výfukového potrubí prošla v průběhu let velkými změnami. Musela se přizpůsobit inovaci celého motoru. Původně byl výfukový systém tvořen pouze potrubím. Ke snížení hlučnosti sloužila změna průměru. V dnešní době je výfukový systém složitý celek, při jehož konstrukci jsou nutné znalosti z chemie, mechaniky, akustiky, termodynamiky, materiálového inženýrství a elektroniky.

Konstrukce musí komplexně odolávat jednotlivým namáháním. Celý výfukový systém je namáhán mechanicky v důsledku vibrací motoru a pohybu karoserie. Dále je výfuk namáhán teplotně, protože odváděné spaliny ze spalovacího prostoru mají vysoké teploty až 900 °C. Výfukový systém je namáhán korozí. Ta vzniká uvnitř kvůli proudění spalin a zvenku vlivem vnějšího prostředí, ve kterém se provozované vozidlo nachází.

Výfukový systém se skládá ze sběrného a spojovacího potrubí, tlumičů hluku a katalytického konvertoru. [5]



Obrázek 31 Výfukový systém - převzato z: [33]

### 3.3.2 Sběrné potrubí

Sběrné potrubí odvádí produkty spalování z hlavy válců do výfukového traktu. Většinou se vyrábí odléváním ze šedé litiny nebo je vyráběné ze žáruvzdorných ocelí. Kvůli snížení hmotnosti se v poslední době začalo vyrábět i z plechu. Sběrné potrubí ze šedé litiny je, díky své velké pevnosti odolnější proti korozi a lépe tlumí vibrace a hluk. Nevýhodou je především vysoká hmotnost a schopnost odvodu tepla. To má za následek prodloužení doby náběhu katalytického konvertoru. V dnešní době se setkáváme se svěrným potrubím ze šedé litiny u starších modelů vozidel. Sběrné potrubí vyráběné ze žáruvzdorných ocelí nahrazuje to ze šedé litiny. Dříve se objevovalo pouze u závodních automobilů, kde se hlavně využívalo jeho výrazně nižší hmotnosti. Výhodou je i menší odvod tepla, a proto je v dnešní době plně rozšířené i u běžných automobilů.

Konstrukce sběrného potrubí může být provedena různým způsobem. Jednou z možností je spojit najednou všechny větve dohromady. Další možností je spojení dvou větví dohromady a následné spojení vzniklých větví. Při tomto postupném spojování se provádí spojení dvou větví vedoucích od válců, ve kterých probíhá opačný cyklus. U čtyřdobého motoru, který má zapalování válců v pořadí 1-3-4-2 se spojují dohromady krajní dvě větve a střední dvě větve. Vzniklé dvě větve se následně spojí do jedné. [2,5,17]



Obrázek 32 Nerezové sběrné potrubí [34]



Obrázek 33 Sběrné potrubí ze šedé litiny [34]

### 3.3.3 Spojovací potrubí

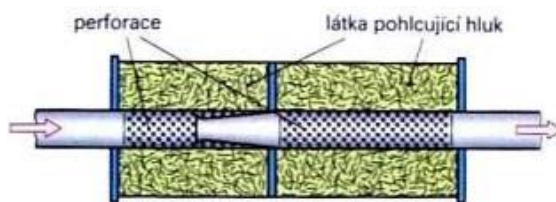
Spojovací potrubí dopravuje výfukové plyny mezi jednotlivými funkčními celky, jako jsou tlumiče, katalytické konvertory a další. Hlavní požadavek, který je kladen na spojovací potrubí je chemická odolnost a odolnost vůči teplotním výkyvům. Vnitřní průměr potrubí musí být navržen tak, aby zajistil volné proudění výfukových spalin. Spojovací potrubí je většinou vyrobeno z plechu, který je ošetřen antikoročním nátěrem. U závodních automobilů bývají použity tzv. Inconely. To jsou nerezové plechy, které mají při vysokých teplotách, srovnatelné vlastnosti s trubkami z běžné oceli se silnější stěnou. Dalším materiálem jsou slitiny titanu, které se špatně tváří, a proto jsou méně využívány. [5,17]

### 3.3.4 Tlumiče hluku

Jak již bylo v úvodu popsáno, výfukový systém musí být schopen tlumit hluk, který vzniká spalováním a impulsy výfukových plynů. To zajišťují právě tlumiče. Výrobce zaručuje, aby nebyly překročeny hlukové limity a nedocházelo ke snižování výkonu motoru. U automobilů se většinou používají dva tlumiče, které jsou naladěny na jinou frekvenci. V praxi se využívají tři druhy tlumičů. Každý využívá jiný princip tlumení zvukových vln. [5,22]

#### Absorpční tlumič

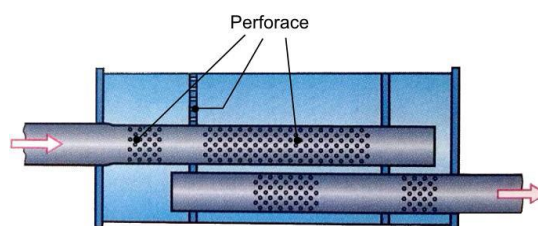
Absorpční tlumení je založeno na pohlcování hluku. To zajišťuje měkká porézní látka, kterou jsou vyplněny komory. Energie zvykových vln se vlivem tření v porézním materiálu mění na tepelnou energii. Jako porézní látka jsou většinou použita skelná vlákna nebo minerální vata. Celý tlumič se skládá z jedné nebo více komor a perforované trubky. Absorpční tlumič tlumí především hluk vyšších frekvencí. [5,22]



Obrázek 34 Absorpční tlumič - převzato z [5]

### Reflexní tlumič

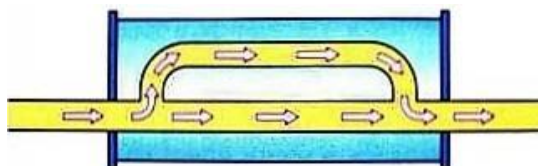
Princip reflexního tlumení je, že zvykovým vlnám jsou do cesty kladeny překážky. Vlny se o překážky odrážejí a otáčejí se. Reflexní tlumič se skládá ze dvou nesouosých perforovaných trubek. Ty spojují různě velké komory a dochází tím k obracení proudů výfukových plynů. Odrážení vzniká změnou průtokových otvorů. Jedná se o přechody trubek a komor. Tímto způsobem je tlumen především hluku nižších a středních frekvencí. [5,22]



Obrázek 35 Reflexní tlumič převzato z [22]

### Rezonanční tlumič

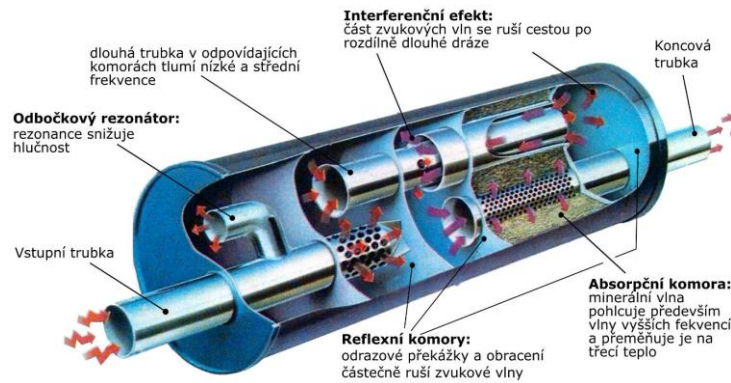
Rezonancí se proud výfukových plynů rozděluje do několika proudů. Podle toho můžeme rezonanční tlumiče rozdělit na řadové a odbočkové. U řadových rezonátorů vzniká rezonance přímo v hlavní větvi tlumiče. U odbočkových vzniká v odbočce. Po určité vzdálenosti se tyto proudy znovu spojují a dojde k interferenčnímu efektu. To má za následek vzájemné rozrušení vln. Rezonanční tlumič zajišťuje silné tlumení hluku při určité frekvenci. [5,22]



Obrázek 36 Rezonanční tlumič - převzato z [22]

### Kombinovaný tlumič

Každý druh z výše popsaných tlumičů tlumí pouze hluk určité frekvence. Proto se tyto tlumiče kombinují. Většinou bývají spojeny do společného pouzdra.



Obrázek 37 Kombinovaný tlumič - převzato z [22]

Konstrukce vznětového spalovacího motoru se neustále vyvíjí vpřed. Snahou je zvýšení výkonu, ale s ohledem na životní prostředí. Jednotlivé konstrukční provedení pro zlepšení dopadu užívání těchto motorů je popsáno v kapitole 4.1 Snižování emisí u naftového motoru.

### 3.4 Využití vznětových motorů

Konstrukci jsme si popsali v předchozí kapitole a v této se budeme zajímat o celkové využití naftových motorů. Kde bychom je našli a k čemu nám slouží.

Naftové motory byli dříve příliš velké, aby se používaly u automobilů. Rychle se uchytily na železnici. Na začátku 20. století našly naftové motory uplatnění i u lodí. Posupně se vyvinuly do stavu, kdy sloužily jako pohon ponorek. Jejich vývoj šel dopředu a jednu dobu se využívaly také v letecké dopravě.

V dnešní době jsou vznětové motory konstrukčně navrženy tak, že mohou být použity, s nadsázkou, kdekoli. Nejrozšířenější jsou stále u nákladních automobilů a lodí, kde zatím nemají konkurenci. Dále se využívají u vojenské techniky a u lokomotiv. Pro svoji sílu se využívají u zemědělské a stavební techniky. Největší vznětové motory mají využití v lodní dopravě, například u tankerů a zaoceánských lodí. Největší vznětový motor přeplňovaný turbodmychadlem má 14 válců, objem 1820 litrů na válec. Výkon tohoto motoru je 80 080 kW. Slouží jako pohon zaoceánské lodi.

Běžně se s nimi setkáme u osobních automobilů. Velikost vznětových motorů se neustále zmenšuje, a proto se využívají už i u menších strojů jako jsou motorčky, čtyřkolky, ale i u zahradní techniky. Tam patří například sekačky, křovinořezy a pily. Vznětové motory se využívají i pro pohon elektrických generátorů.

Vznětový motor se vyvíjí neustále dopředu. Až postupem času se uvidí, kam se ještě rozroste jeho využití. [35]

### 3.5 Konstrukční řešení výrobní komponenty naftového motoru

#### 3.5.1 Návrh části ventilového rozvodu

Ventilový rozvod budeme navrhovat pro vznětový motor traktoru. Vycházíme z použití rozvodu. Měl by být snadno opravitelný, jednoduchý na seřízení, ale dostatečně dimenzovaný.

Jedná se o vznětový motor s maximálními otáčkami 2500 [min<sup>-1</sup>]. Proto bude vyhovovat rozvod OHV. Sací ventil bude mít plochou hlavu. Přitlačení ventilu zajišťuje pružina, která je opřena o opěrnou miskou. Pozice opěrné misky je zajištěna pomocí dvoudílného kuželového klínku.

#### 3.5.2 Parametry potřebné k výpočtu

Počet válců:	6
Zdvihový objem:	$V_z = 4156$ [cm <sup>3</sup> ]
Zdvih:	$L = 126$ [mm]
Vrtání:	$D = 101$ [mm]
jmenovité otáčky:	$n_j = 2100$ [min <sup>-1</sup> ]
Maximální přeběhové otáčky:	$n_{max} = 2500$ [min <sup>-1</sup> ]
Kompresní poměr:	17
Pořadí vstřiku:	1-3-4-2
Počet ventilů na válec:	2
Maximální točivý moment:	$M_{kmax} = 650$ [Nm]
Převýšení točivého momentu podle ECE R24	38 [%]
Jmenovitý výkon podle normy 2000/25/EC	106kW/144HP

Tyto parametry jsou pro Zetor crystal 150. [40]

#### 3.5.3 Výpočty

##### Návrh rozměrů sacího ventilu

Rozměry byly zvoleny z tabulek na str. 331 [37]. Úhel sedla je  $\gamma=30[^\circ]$

Vnitřní průměr sedla ventilu:

$$D_s = (0,42 \div 0,44) \cdot D \cong 43 [mm]$$

Vnější průměr sacího ventilu

$$d_{1s} = \frac{D_s}{0,9} \cong 47 [mm]$$

Výška talířku

$$t_s = (0,075 \div 0,085) \cdot d_{1s} \cong 3,5 [mm]$$

Výška hrany talířku



$$h_{1s} = (0,045 \div 0,05) \cdot d_{1s} \cong 2,3 \text{ [mm]}$$

Průměr dřívku ventilu

$$d_{ds} = (0,2 \div 0,22) \cdot d_{1s} \cong 10 \text{ [mm]}$$

Úhel hlavy ventilu

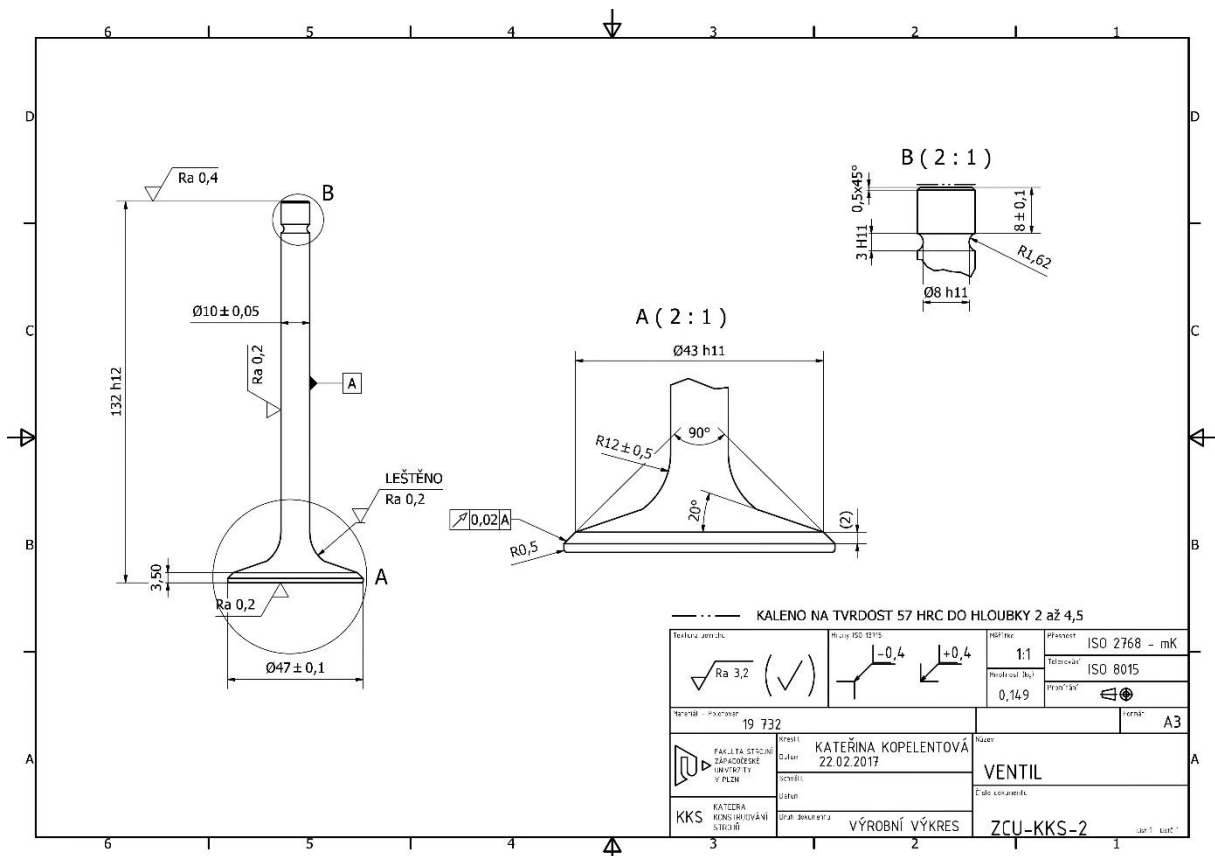
$$\alpha_s = 20 \text{ [}^\circ\text{]}$$

Poloměr zaoblení mezi dřívkem a talířkem

$$\rho_s = (0,24 \div 0,26) \cdot d_{1s} \cong 12 \text{ [mm]}$$

Plocha sacího kanálu

$$S_s = \pi \cdot \frac{(D_s^2 - d_{ds}^2)}{4} = 1373,66 \text{ [mm}^2\text{]}$$



Obsah komolého kužele při zdvihu ventilu

$$S_s = \pi \cdot h_{vs} \cdot (D_s \cdot \cos(\gamma) + h_{vs} \cdot \sin(\gamma) \cdot \cos(\gamma)^2)$$

Z předchozí rovnice vypočteme výšku zdvihu

$$h_{vs} \cong 10,5 \text{ [mm]}$$

Obrázek 38 Navrhovaný ventil

### Výpočet ventilové pružiny

Pro vypočtení ventilové pružiny potřebuje znát hmotnost rozvodu, která je redukována do osy ventilu, zrychlení ventilu při úplném otevření ventilu a koeficient bezpečnosti, ten se pohybuje v rozmezí  $1,25 \div 1,6$  a proto volím  $k_p = 1,6$

Zrychlení:  $a_{v(0^\circ)} = 460 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$

Hmotnost rozvodu  $m_{roz} = 420 [g]$

Setrvačná síla při úplném otevření:  
 $F_{a(v0^\circ)} = m_{roz} \cdot a_{v(0^\circ)} = 193,2 [N]$

Síla pružiny:

$$F_p = k_p \cdot F_{a(v0^\circ)} = 309,12 [N]$$

Střední průměr pružiny:

$$D_p = (0,8 \div 0,9) \cdot d_{1s} \cong 40 [mm]$$

Materiál pružiny jsem zvolila pružinovou ocel ČSN 12 090

$$\tau_p = 550 [MPa]$$

$$G = 79\,000 [MPa]$$

Součinitel bezpečnosti volím  $k_k = 1,4 [-]$

Průměr drátu pružiny

$$d = \sqrt[3]{\frac{8 \cdot k_k \cdot F_p \cdot D_p}{\pi \cdot \tau_p}} = 4,31 [mm]$$

Podle výrobce Pružiny- federn volím  $d = 4,5 [mm]$

Délka stlačení z volného stavu

$$y = 20 [mm]$$

Počet činných závitů

$$i_\zeta = \frac{G \cdot d^4 \cdot y}{8 \cdot F_p \cdot D_p^3} = 4,1 [-]$$

Počet závěrných závitů: 2

Celkový počet závitů

$$i = i_\zeta + 2 = 6,1 [-]$$

Vůle mezi závity

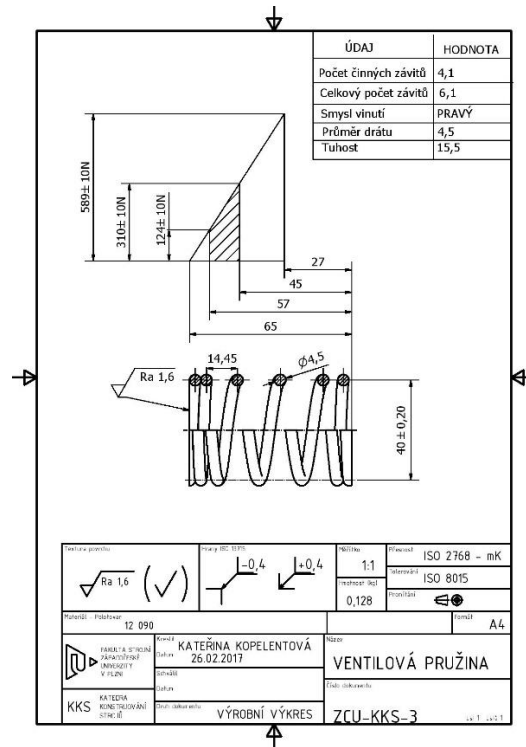
$$\Delta min = 0,6 [mm]$$

Stoupání

$$t = d + \frac{y}{i_\zeta} + \Delta min = 14,45 [mm]$$

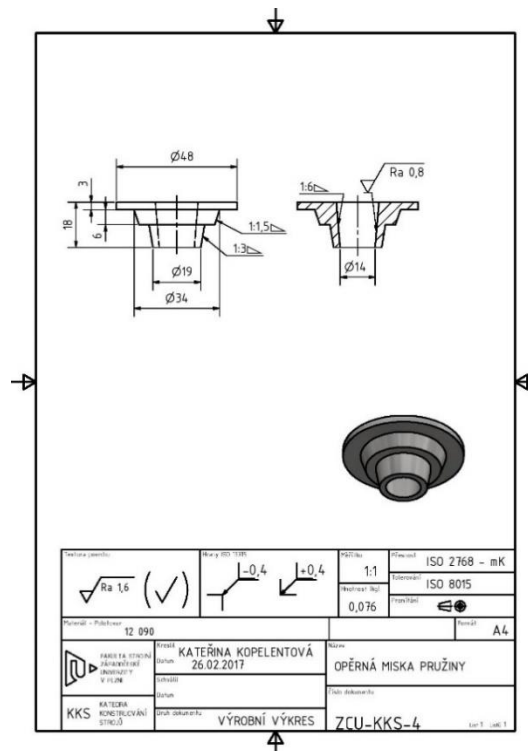
Tuhost

$$k = \frac{F_p}{y} = 15,456 \left[ \frac{N}{mm} \right]$$

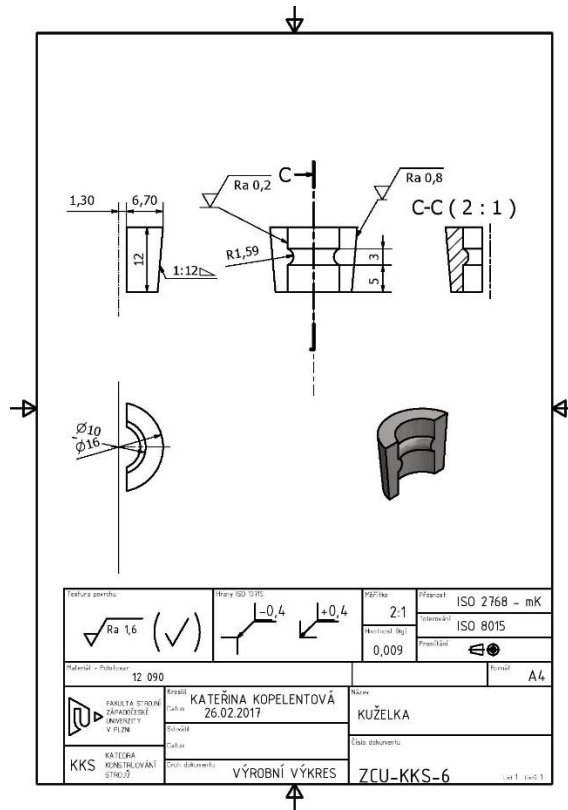


Obrázek 39. Navržená pružina

### Součásti potřebné pro montáž pružiny

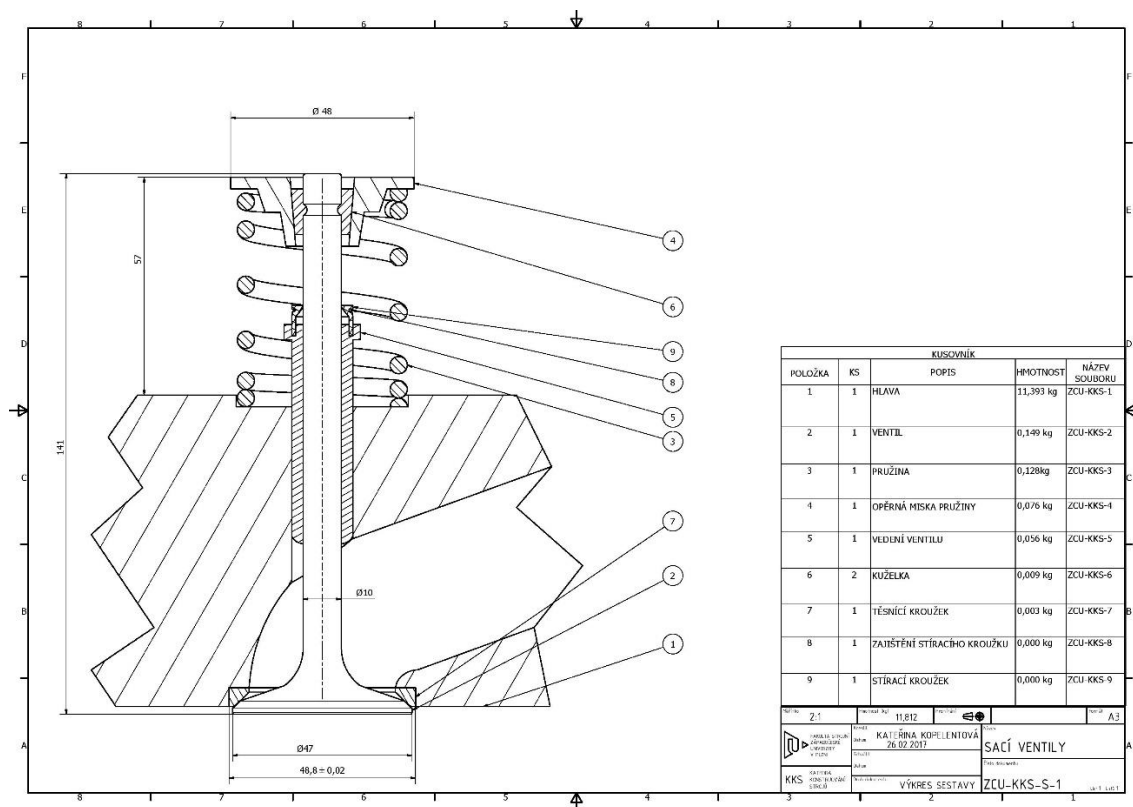


Obrázek 40 Navržená opěrná miska pružiny



Obrázek 41 Navržená kuželka pro upevnění ventilu

### Sestavení ventilu ve funkčním stavu v hlavě motoru



Obrázek 42 Navrhované umístění ventilové soustavy v hlavě motoru

## 4 Další vývoje naftového spalovacího motoru

Vývoj spalovacích motorů byl veden snahou o dosažení co nejvyššího výkonu. Od jejich vynálezu musel překonat počáteční problémy, nejprve se spolehlivostí a pak s životností. K této snaze přibýly postupně dva limitující faktory. Nejdříve spotřeba, a následně obsah škodlivých látek ve výfukových plynech. Tak je tomu dnes. Předpoklad je, že se vývoj bude ubírat dále stejnou cestou, dokud nebude nalezen jiný zdroj energie pro pohyb silničního nákladního vozidla, který by dokázal nahradit motorovou naftu při dosažení stejných hodnot výkonových parametrů: výkon, spotřeba, náklady a vztah k životnímu prostředí. Jeho vývoj pro dalších 10 – 20 let bude určovat využití nových technologií při zpracování dosud používaných materiálů, použití nových materiálů a využití elektroniky v širším rozsahu ke zvýšení účinnosti naftového motoru.

### 4.1 Snižování emisí u naftového motoru

Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.9, každý dopravní prostředek musí splňovat dané normy. Snižování lze dosáhnout různými způsoby. Můžeme je rozdělit na aktivní a pasivní prostředky. Aktivní prostředky působí přímo ve spalovacím prostoru nebo před ním. Pasivní prostředky působí až za spalovacím prostorem a snižují tedy obsah škodlivin ve výfukových plynech. [2]

#### 4.1.1 Aktivní prostředky

Aktivní prostředky jsou založené na spalovacím procesu a úpravě paliva. Používání kvalitnější spalovací směsi docílíme rovnoměrnějšího spalování, zvýšíme účinnost paliva. Zároveň dojde k poklesu spotřeby, uhlovodíků a škodlivin ve výfukových plynech. Při použití kvalitnější spalovací směsi musíme dosahovat vyšších spalovacích teplot. To má negativní vliv a narůstá produkce  $\text{NO}_x$ .

##### Tvorba směsi

Způsob tvoření směsi ovlivňuje emise škodlivin. U komůrkových motorů se snižují emise oxidů dusíku v závislosti na přebytku vzduchu. Při menších přebytcích vzduchu dochází k pomalému hoření a lepšímu rozvrstvení směsi. Dosahujeme tím nižší hodnoty emise  $\text{NO}_x$ .

Tvorba směsi je závislá i na kompresním poměru. Ten ovlivňuje teplotu spalování. Při snížení kompresního poměru dosáhneme snížení spalovací teploty, a tím i snížení emisí oxidů dusíku. Zároveň dojde k poklesu termické účinnosti a zhorší se tím startovatelnost při nižších teplotách. [2,5]

##### Vstřikování paliva

Základem účinného spalování je zajištění homogenní směsi paliva a vzduchu. Cílem je zajistit co nejjemnější rozprášení paliva. To záleží hlavně na vstřikovacím zařízení, které umožňuje regulovat množství paliva a začátek vstřiku. Vstřikovaný paprsek paliva musí zajistit rozprášení po celém spalovacím prostoru, ale nesmí se dostat na stěny. To by mělo za následek zvýšení sazí a emisních hodnot. [5,36]

##### Přeplňování

K přeplňování se využívají turbodmychadla, která jsou poháněna výfukovými plyny. Cílem přeplňování je dostat do spalovacího procesu větší množství vzduchu. To umožňuje zvětšit vstřikovací dávku. Vzduch je chlazen v mezichladiči, protože se při stlačování zvyšuje teplota. Přeplňované motory, mají větší výkon při malém zvýšení množství paliva. Zvýšení

plnicího tlaku zároveň způsobuje zvýšení teploty spalování. To se kladně projevuje na množství emisí uhlovodíků, oxidu uhelnatého a sazí. Zároveň větší teplota spalování zvyšuje tvorbu oxidů dusíku. [2,5,36]

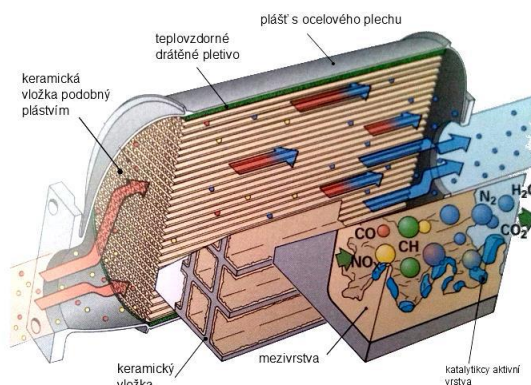
#### 4.1.2 Pasivní prvky

Pasivní prvky jsou umístěny za spalovacím prostorem. Snaží se zachytit škodliviny vzniklé spalovacím procesem. Škodliviny vzniklé spalováním jsou především oxid uhelnatý (CO), pevné částice (PM), nespálené uhlovodíky (HC) a oxidy dusíku (NO<sub>x</sub>).

##### Katalytický konvertor

Katalytický konvertor nezachycuje přímo žádné škodliviny. Funguje na principu vyvolání a urychlení reakcí produktů nedokonalého spalování na méně nebezpečné látky. Konvertor má na svém vnitřním povrchu umístěné vzácné chemické látky. Ty jsou označovány jako katalyzátory. Katalyzátory vyvolávají katalýzu, ale sami se jí přímo neúčastní. Nedochází tedy k jejich úbytku z katalytického konvertoru.

Konvertor je tvořen nerezovým plechovým pláštěm, keramickou nebo kovovou vložkou a katalytickými aktivními vrstvami. Vložka se skládá z několika tisíců malých kanálek, kterými protékají výfukové plyny. Její povrch je velmi porézní. To je z důvodu zvýšení účinné plochy. Zvýšení může být až 7 000 x. Vyrábí se buď z keramiky nebo z vysoce legovaných ocelových drátů. Keramická vložka je levnější oproti kovové, při recyklaci se z ní lépe získávají vzácné kovy a má stálejší provozní teplotu. Přímou na vložku nebo na nosič je nanášena katalytická aktivní vrstva. Nejčastěji je z platiny, paladia nebo rhodia. [2,17]



Obrázek 43 Konstrukce a proces katalytického konvertoru - převzato z [2]

##### Oxidační katalytický konvertor

U vznětových motorů se využívá oxidační katalytický konvertor. Jako katalyzátor se využívá především platina a paladium. Katalyzátory vyvolávají oxidaci, ale sami se jí neúčastní. Nedochází tedy k jejich spotřebě. Oxid uhelnatý (CO) se přeměňuje na oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>). Nespálené uhlovodíky oxidují na oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>) a vodu (H<sub>2</sub>O). Pro správnou činnost musí mít oxidační konvertor provozní teplotu minimálně 170 °C. Optimální teplota je 250 °C – 350 °C. [2]

##### Filtr pevných částic

Filtr pevných částic, který je umístěný za oxidačním katalytickým konvertorem, dokáže snížit emise pevných částic až o 95 %. Filtr tvoří vložka z porézního materiálu.

Ta zachycuje pevné částice při průchodu výfukových plynů. Filtr musí procházet pravidelnou regenerací, protože zachycený uhlík pokrývá povrch a snižuje jeho účinnost. Regenerace se provádí dvojím způsobem. Jedním z nich je zvýšení teploty výfukových plynů pomocí do-  
datečného vstřikování paliva a zvýšení točivého momentu. Druhý způsob je přidání aditiv do paliva. To má za následek snížení teploty spalování pevných částic až na 450 °C. Oxidační katalytický konvertor a filtr pevných částic se umísťují společně do jednoho tělesa. [2]

### Recirkulace výfukových plynů

Označuje se zkratkou EGR ( Exhaust Gas Recirculation). Principem je zpětné přivádění výfukových plynů do spalovacího prostoru. 15 % až 20 % výfukových plynů se může vrátit zpátky do spalovacího prostoru. Výfukové plyny mají malý obsah kyslíku. Ve spalovacím prostoru se tedy neúčastňují spalovacího procesu, ale přijímají vzniklé teplo. Snižují tím tak teplotu hoření. Obsah oxidů dusíku ( $\text{NO}_x$ ) se sníží až o 60 %, sníží se i spotřeba paliva. Recirkulaci můžeme rozdělit na vnitřní a vnější. Vnitřní recirkulace spalin probíhá v okamžiku otevření sacího i výfukového ventilu najednou. Vnější recirkulace probíhá pomocí speciálního vedení a zpětných ventilů. Zpětné vedení plynů je řízené pomocí EGR ventilu. Ten zohledňuje teplotu, zatížení a otáčky motoru. [2]

## 4.2 AdBlue

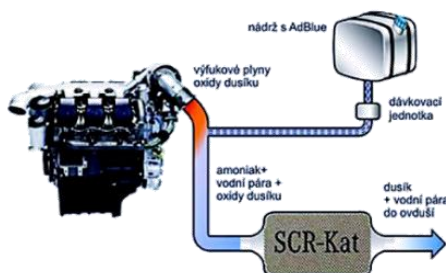
Všichni výrobci vozidel musí splnit normy Euro 5 a Euro 6, které se týkají emisí naftových motorů. Normy Euro 5 by mohly být splněny při použití jiných technologií, ale požadavky normy Euro 6 by nesplnily. Proto se používá AdBlue. Jedná se o systém vstřikování močoviny. Roztok „AdBlue“ se skládá z 32,5 % syntetické močoviny a 67,5 % vody. AdBlue je uloženo v samostatné nádrži, která je oddělená od palivové nádrže. Dávkuje se do proudu stlačeného vzduchu, který ho dopraví do výfukového potrubí nebo se dávkuje přímo do výfukových plynů před katalytický konvertor. Tam se následně využívá selektivní katalytické redukce, při které dochází k rozkladu AdBlue na  $\text{CO}_2$  a amoniak .



Amoniak dále reaguje s  $\text{NO}_x$  za vzniku dusíku a vodní páry. Celý tento proces je nazýván jako selektivní katalytická redukce (SCR)



Řídící jednotka dávkuje AdBlue na základě všech dat motoru a katalytického konvertoru. Tím zajišťuje optimální redukci  $\text{No}_x$ . Tato metoda dosahuje snížení emisí oxidů dusíku až o 90 %. Jediná nevýhoda může vzniknout ve chvíli, kdy dojde k neúplné reakci  $\text{NH}_3$  s oxidy dusíku. V tuto chvíli odchází do ovzduší s výfukovými plyny i malé množství čpavku. Tento jev se nazývá strhávání čpavku. [2,22]



Obrázek 44 Selektivní katalytická redukce [2]

## 5 Závěr

Tuto bakalářskou práci, která se zabývá problematikou vznětových spalovacích motorů jsem zpracovala jako dvě samostatné části – rešeršní a praktickou.

V rešeršní části jsem se snažila nejprve porovnat výhody a nevýhody vznětového a zážehového motoru. Dále pak už jsem se zabývala, podle zadání, pouze vznětovým motorem, který je zde představen ze dvou hledisek. Detailním popisem jednotlivých procesů, které probíhají při činnosti motoru a následným popisem základních částí jeho konstrukce. Jedná se o představení jednotlivých částí a popis jejich funkcí v motoru s popisem funkcí doprovodných systémů, kterými je motor vybaven. Na tuto rešerši pak přímo navazuje praktická část mé práce, konkrétní návržení rozvodu s výkresovou dokumentací.



## 6 Seznam použité literatury

### 6.1 Knižní publikace

- [1] MATĚJOVSKÝ, Vladimír. *Automobilová paliva*. 1. vyd. Praha: Grada, 2005. ISBN 80-247-0350-5
- [2] HROMÁDKO, Jan. *Spalovací motory: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. 1. vyd. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3475-0.
- [5] VLK, František. *Vozidlové spalovací motory*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-238- 8756-4.
- [7] Košťál, J., Suk, B. *Pístové spalovací motory*. Nakladatelství Akademie věd. 1. vydání. Praha. 1963. ISBN 21-039-63.
- [21] ŠTOSS, Milan. *Spalovací motory I*. Vyd. 2., opr. Brno: VUT, 1992. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-0417-5.
- [22] GSCHEIDLE, Rolf. *Příručka pro automechanika*. 3. přeprac. vyd. Praha: Europa - Sobotáles, 2007. ISBN 978-80-86706-17-7.
- [25] HROMÁDKO, Jan. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony*. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.7
- [29] BAUMRUK, Pavel. *Příslušenství spalovacích motorů*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999. ISBN 80-01-02062-2.
- [37] KOŽOUŠEK, Josef. *Výpočet a konstrukce spalovacích motorů II: vysokoškolská příručka pro vysoké školy technické*. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1983.
- [38] MICHALÍK, Petr, Zdeněk ROUB a Václav VRBÍK. *Zpracování diplomové a bakalářské práce na počítači*. 3. vyd. V Plzni: Západočeská univerzita, 2009. ISBN 978-80-7043-828-2.
- [39] STANĚK, Jiří a Jiří NĚMEJC. *Metodika zpracování a úprava diplomových (bakalářských) prací*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2005. ISBN 80-7043-363-9.

### 6.2 Publikace na internetu

- [3] Motorová nafta. *Ceproas*[online]. Praha7 [cit.2016-09-12]. Dostupné z : <https://www.ceproas.cz/nafta-motorova>.
- [4] Carnotův cyklus. *sps.ko* [online]. [cit.2016-09-20]. Dostupné z : [http://www.sps-ko.cz/documents/MEC\\_kratochvil](http://www.sps-ko.cz/documents/MEC_kratochvil).
- [6] Oběhy. *Dragon.web2001* [online]. [cit.2016-09-20]. Dostupné z : [http://dragon.web2001.cz/fyzika/tepelnestroje/ctyrdoby\\_zazehovy\\_01.htm](http://dragon.web2001.cz/fyzika/tepelnestroje/ctyrdoby_zazehovy_01.htm).
- [8] Stirlingův motor. *Stirlingmotor* [online]. [cit.2016-09-25]. Dostupné z : <http://stirlingmotor.cz/princip.html>.

- [9] letecké motory. *Leteckemotory* [online]. [cit.2016-09-25]. Dostupné z : <http://www.leteckemotory.cz/teorie/typy-leteckych-motoru>.
- [10] letecké motory. *Hvezdarna-vsetin* [online]. [cit.2016-09-25]. Dostupné z : <http://www.hvezdarna-vsetin.cz/view.php?cislocianku=2004070001>.
- [11] přednášky z termomechaniky. FST ZČU Plzeň.
- [12] Plynová trubina. *Transformacni-technologie* [online]. [cit.2016-10-4]. Dostupné z: <http://www.transformacni-technologie.cz/plynova-turbina-v-technologickem-celku.html>.
- [13] dvoudobý spalovací motor. *Jawa-50* [online]. [cit.2016-11-18]. Dostupné z : <http://www.jawa-50.cz/clanek/teorie-princip-dvoudobeho-dvoutaktniho-spalovaciho-motoru.html>.
- [15] Rozdíly mezi zážehovým a vznětovým motorem. *Rozdily* [online]. [cit.2016-12-8]. Dostupné z : [http://www.rozdily.cz/Rozd%C3%ADl\\_mezi\\_vzn%C4%9Btov%C3%BDm\\_a\\_z%C3%A1%C5%BEhov%C3%BDm\\_motorem](http://www.rozdily.cz/Rozd%C3%ADl_mezi_vzn%C4%9Btov%C3%BDm_a_z%C3%A1%C5%BEhov%C3%BDm_motorem).
- [16] Pracovní oběhy. *Iae.fme.vutbr* [online]. [cit.2016-12-8]. Dostupné z : <http://www.iae.fme.vutbr.cz/cs/studium/opory>.
- [17] kvalifikační práce KKS FST [online] [cit.2016-12-5] Dostupné z : <https://portal.zcu.cz/portal>.
- [18] Normy Euro. *autohit* [online]. [cit.2016-11-17]. Dostupné z : <http://www.autohit.cz/galerie/129212-glosa-nic-neni-cernobile-ani-zly-volkswagen-a-jeho-dieselove-motory/161641>.
- [19] Výfukové plyny. *cistenebe* [online]. [cit. 2016-11-17]. Dostupné z : <http://cistenebe.cz/index.php/slovnicek-pojmu/18-vyfukove-plyny>.
- [20] Tepelná bilance. *Iae.fme.vutbr* [online]. [cit.2016-12-11]. Dostupné z : <http://www.iae.fme.vutbr.cz>.
- [23] Vznícení paliva. *Autoforum* [online]. [cit. 2017-01-04]. Dostupné z : <http://www.Autoforum.cz>.
- [24] Parní stroj. *Fyzika online* [online]. [cit. 2017-01-04]. Dostupné z : [www.fyzikaonline.cz/wp-content/uploads/Spalovací-motory.ppt](http://www.fyzikaonline.cz/wp-content/uploads/Spalovací-motory.ppt).
- [26] Pístní sada. *Autom* [online]. [cit. 2017-01-24]. Dostupné z : [https://www.autom.cz/Pisty-motoru-c2\\_167\\_3.htm](https://www.autom.cz/Pisty-motoru-c2_167_3.htm).
- [27] Pístní kroužky. *Skoda-dily* [online]. [cit. 2017-01-24]. Dostupné z : <https://www.skoda-dily.cz/nahradni-dil/06a198151c-sada-pistnich-krouzku-82-5-mm-de-11639.html>.
- [28] Druhy pístních kroužků. *Publi* [online]. [cit. 2017-01-30]. Dostupné z : <https://publi.cz/books/160/09.html>.
- [30] Ojnice. *Lunatipower* [online]. [cit. 2017-01-30]. Dostupné z : <http://www.lunatipower.com/News.aspx?id=43>.

- [31] Klikový hřídel. *Publi* [online]. [cit. 2017-01-31]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/160/10.html>.
- [32] Rozvody. *Autorubik* [online]. [cit. 2017-02-4]. Dostupné z: [www.autorubik.sk/clanky/ventilovy-rozvod-v-spalovacom-motore-automobilu-sv-ohv-ohc-dohc](http://www.autorubik.sk/clanky/ventilovy-rozvod-v-spalovacom-motore-automobilu-sv-ohv-ohc-dohc).
- [33] Výfukový systém. *Uvp3d* [online]. [cit. 2017-02-13]. Dostupné z: [http://uvp3d.cz/drtic/?page\\_id=2267](http://uvp3d.cz/drtic/?page_id=2267).
- [34] Sběrné potrubí. *tuningcardesign* [online]. [cit. 2017-02-13]. Dostupné z: [www.tuningcardesign.cz](http://www.tuningcardesign.cz).
- [35] Největší vznětový motor. *Auto.idnes* [online]. [cit. 2017-02-14]. Dostupné z: [http://auto.idnes.cz/nejvykonnejsi-motory-sveta-d1m-automoto.asp?c=A150811\\_004728\\_automoto\\_vok](http://auto.idnes.cz/nejvykonnejsi-motory-sveta-d1m-automoto.asp?c=A150811_004728_automoto_vok).
- [36] Snižování emisí ve výfukových plynech. *mmspektrum* [online]. [cit. 2017-02-15]. Dostupné z: [www.mmspektrum.com/clanek/snizovani-emisi-ve-vyfukovychplynech](http://www.mmspektrum.com/clanek/snizovani-emisi-ve-vyfukovychplynech).
- [40] Zetor crystal 150. *zetor* [cit. 2017-02-15]. Dostupné z: <http://www.zetor.cz/zetor-crystal-technicke-parametry>.

## 7 Seznam příloh

### 7.1 Tištěné přílohy

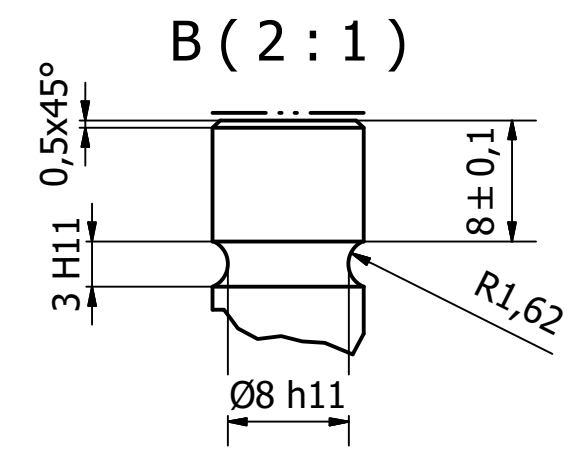
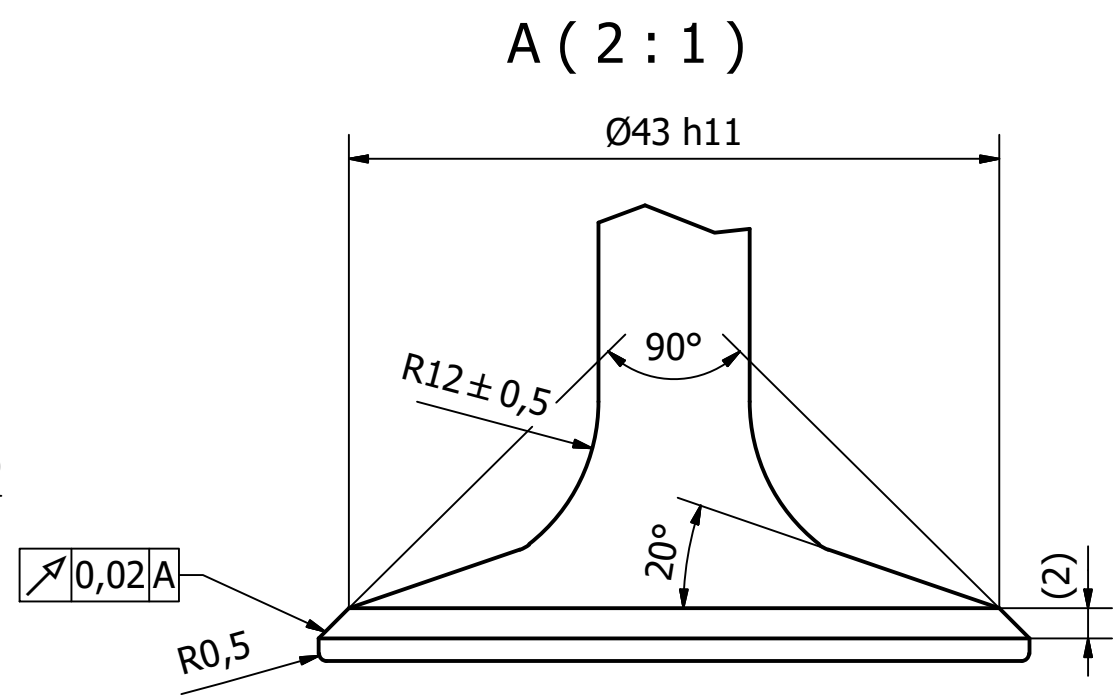
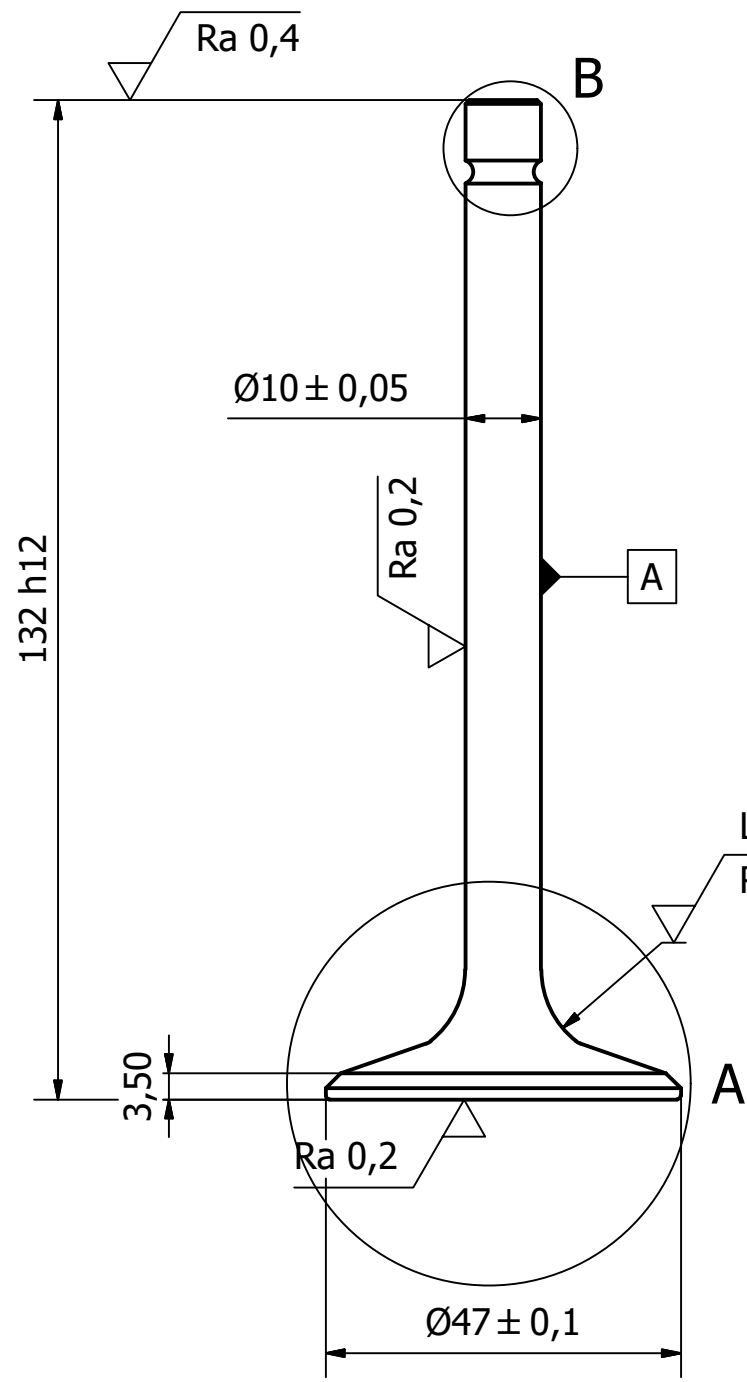
- Výrobní výkres ZCU-KKS-2
- Výrobní výkres ZCU-KKS-3
- Výrobní výkres ZCU-KKS-4
- Výrobní výkres ZCU-KKS-6
- Výkres sestavy ZCU-KKS-S-1

### 7.2 Elektronické přílohy na CD

- Výrobní výkres ZCU-KKS-2
- Výrobní výkres ZCU-KKS-3
- Výrobní výkres ZCU-KKS-4
- Výrobní výkres ZCU-KKS-6
- Výkres sestavy ZCU-KKS-S-1

## Příloha č. 1

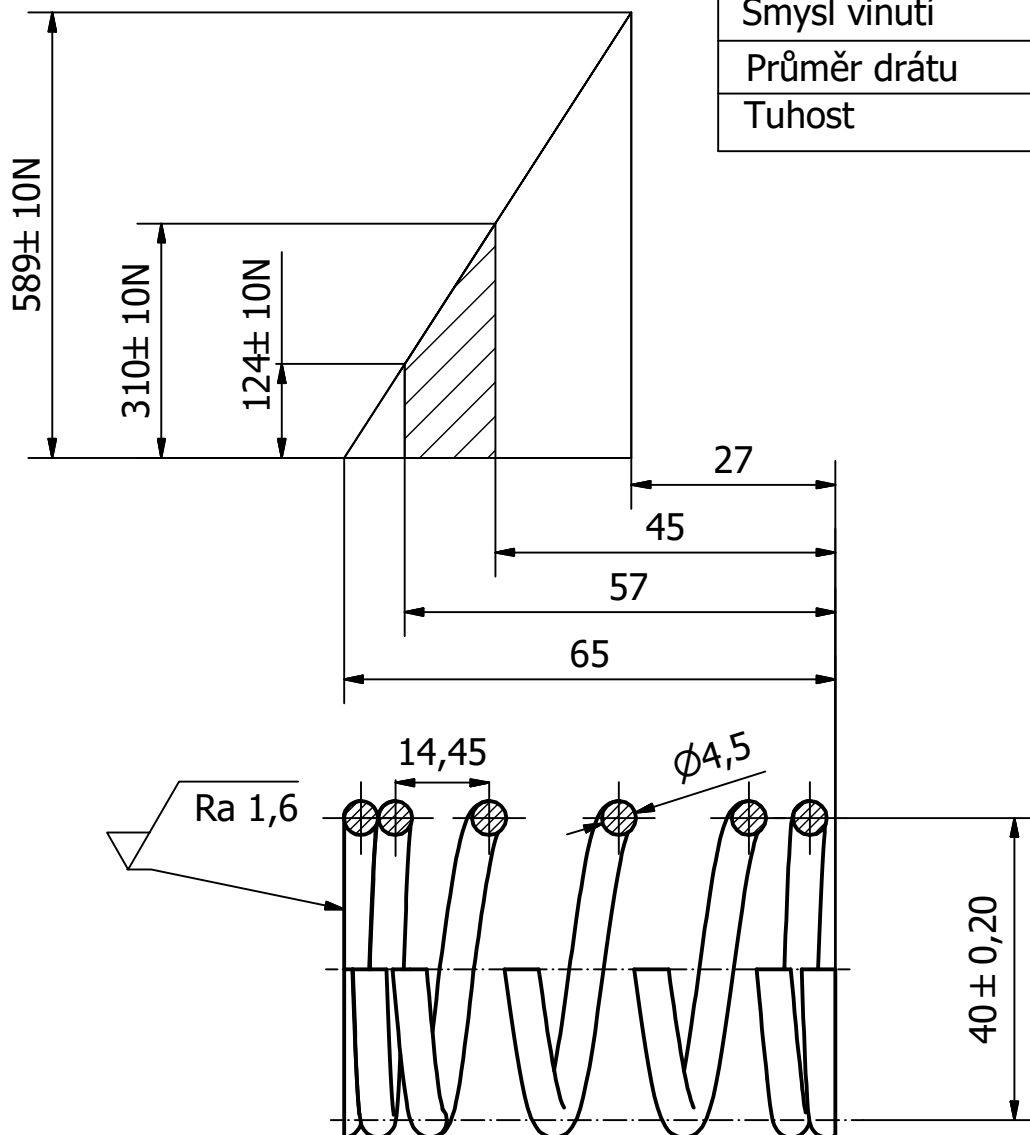
### Výkresová dokumentace



— · · — KALENO NA TVRDOST 57 HRC DO HLOUBKY 2 až 4,5

Textura povrchu 	Hrany ISO 13715 	Měřítka	Přesnost
		1:1	ISO 2768 - mK
Materiál - Polotovár		Hmotnost (kg)	Tolerování
19 732		0,149	ISO 8015
Formát		Promítání	
A3			
Kreslil KATEŘINA KOPELTOVÁ Datum 22.02.2017	Název		
	VENTIL		
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Číslo dokumentu		
	ZCU-KKS-2		
Druh dokumentu		List 1 Listů 1	
VÝROBNÍ VÝKRES			

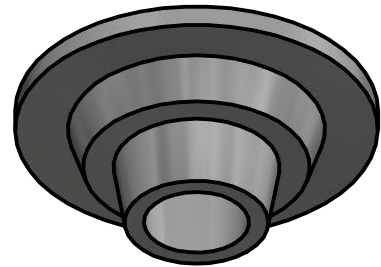
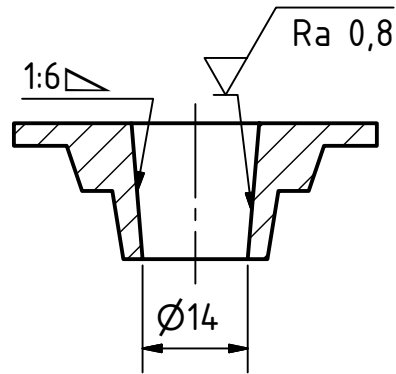
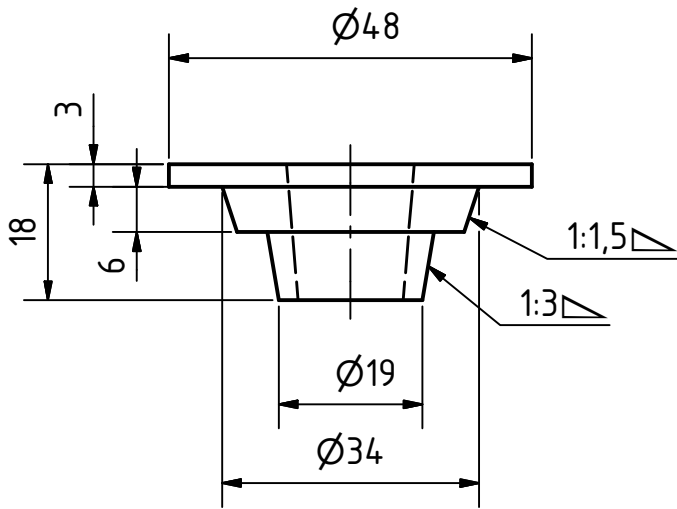
ÚDAJ	HODNOTA
Počet činných závitů	4,1
Celkový počet závitů	6,1
Smysl vinutí	PRAVÝ
Průměr drátu	4,5
Tuhost	15,5



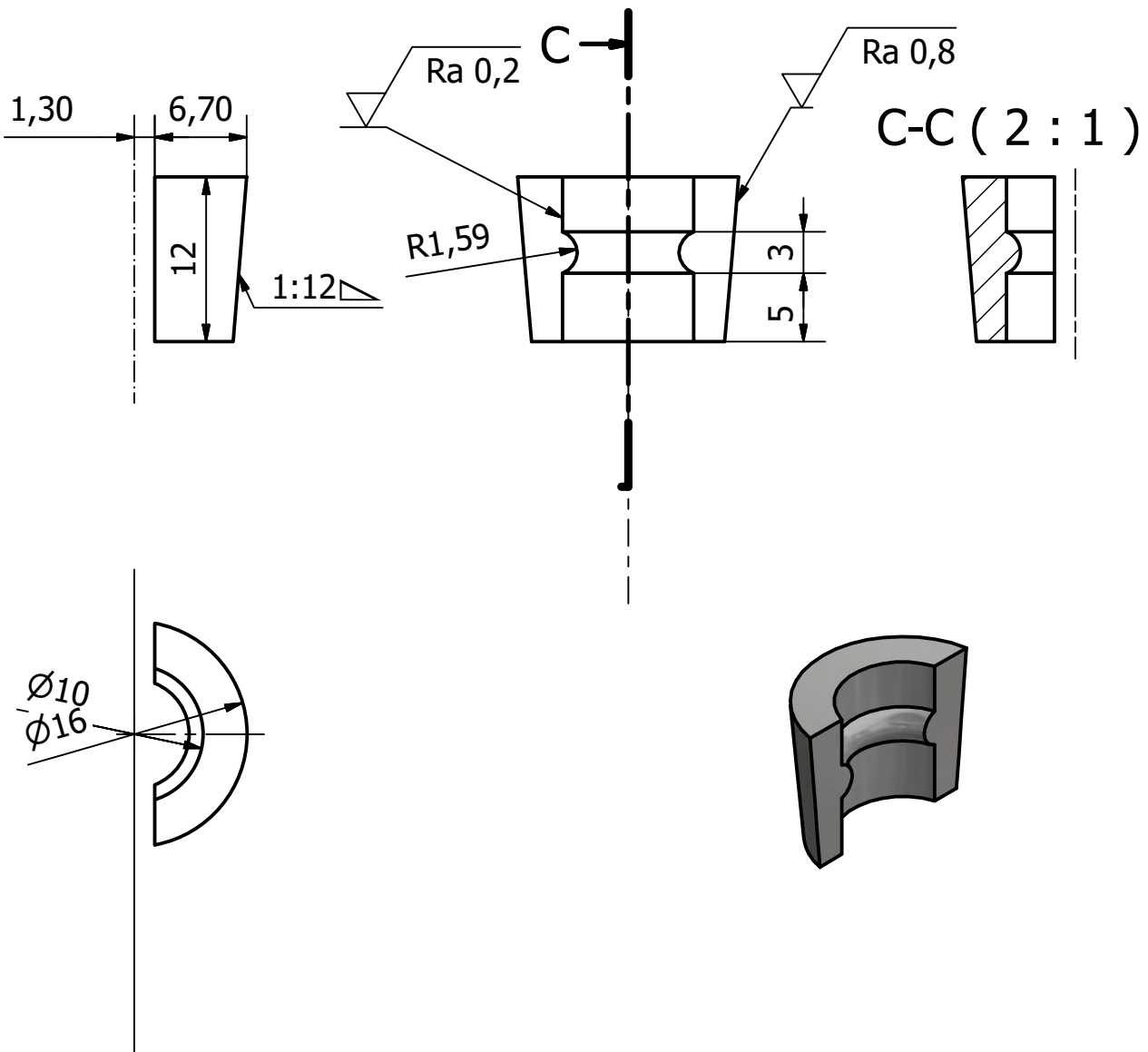
Textura povrchu 	Hrany ISO 13715 	Měřítko 1:1	Přesnost ISO 2768 - mK
		Hmotnost (kg) 0,128	Tolerování ISO 8015
		Promítání 	

Materiál - Polotovár 12 090	Formát A4
--------------------------------	--------------

FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil KATEŘINA KOPELTOVÁ Datum 26.02.2017	Název VENTILOVÁ PRUŽINA
	Schválil Datum	Číslo dokumentu ZCU-KKS-3
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Druh dokumentu VÝROBNÍ VÝKRES	List 1 Listů 1

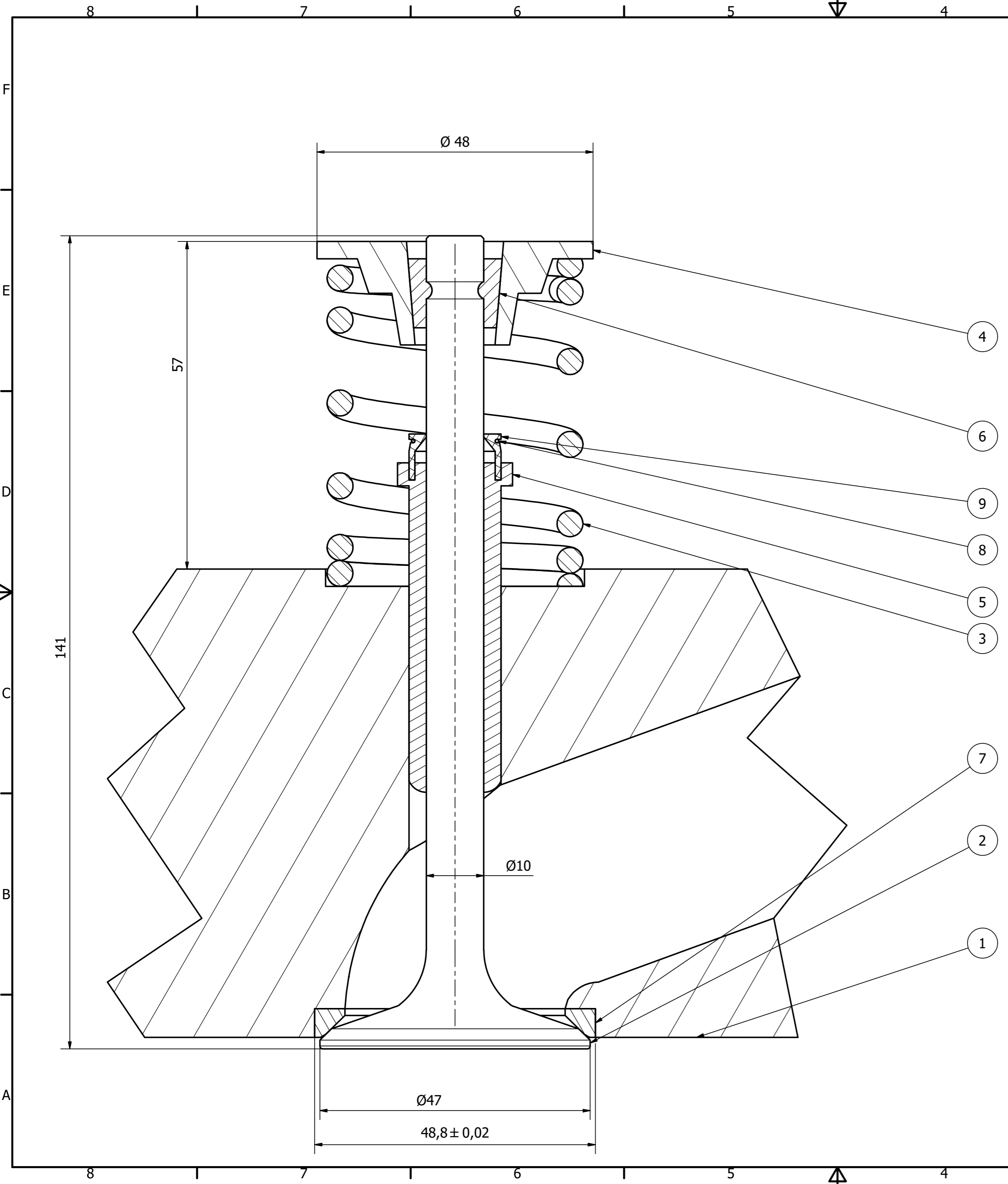


Textura povrchu 	Hrany ISO 13715 	Měřítko 1:1	Přesnost ISO 2768 - mK
		Hmotnost (kg) 0,076	Tolerování ISO 8015
Materiál - Polotovár 12 090			Promítání 
			Formát A4
FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil KATEŘINA KOPELTOVÁ Datum 26.02.2017	Název OPĚRNÁ MISKA PRUŽINY	
	Schválil  Datum	Číslo dokumentu ZCU-KKS-4	
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Druh dokumentu VÝROBNÍ VÝKRES		



Textura povrchu 	Hrany ISO 13715 	Měřítko 2:1	Přesnost ISO 2768 - mK
		Hmotnost (kg) 0,009	Tolerování ISO 8015
Materiál - Polotovár 12 090		Formát A4	
FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil KATEŘINA KOPELTOVÁ Datum 26.02.2017	Název KUŽELKA	
	Schválil  Datum  Druh dokumentu VÝROBNÍ VÝKRES	Číslo dokumentu ZCU-KKS-6	





KUSOVNÍK				
POLOŽKA	KS	POPIS	HMOTNOST	NÁZEV SOUBORU
1	1	HLAVA	11,393 kg	ZCU-KKS-1
2	1	VENTIL	0,149 kg	ZCU-KKS-2
3	1	PRUŽINA	0,128kg	ZCU-KKS-3
4	1	OPĚRNÁ MISKA PRUŽINY	0,076 kg	ZCU-KKS-4
5	1	VEDENÍ VENTILU	0,056 kg	ZCU-KKS-5
6	2	KUŽELKA	0,009 kg	ZCU-KKS-6
7	1	TĚSNÍČÍ KROUŽEK	0,003 kg	ZCU-KKS-7
8	1	ZAJIŠTĚNÍ STÍRACÍHO KROUŽKU	0,000 kg	ZCU-KKS-8
9	1	STÍRACÍ KROUŽEK	0,000 kg	ZCU-KKS-9

Měřítko	2:1	Hmotnost (kg)	11,812	Promítání		Formát	A3
FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil	KATEŘINA KOPELTOVÁ		Název			
	Datum	26.02.2017		SACÍ VENTILY			
KKS	Schválil			Číslo dokumentu			
	Datum			ZCU-KKS-S-1			
KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ		Druh dokumentu	VÝKRES SESTAVY		List 1 Listů 1		