



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO  
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

# PLNICÍ POTRUBÍ S PROMĚNNÝM PRŮŘEZEM PRO 16V MOTOR

VARIABLE INTAKE MANIFOLD FOR 16V ENGINE

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. Lukáš KONEČNÝ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. Radim DUNDÁLEK, Ph.D.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2013/14

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Lukáš Konečný

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

obor: **Automobilní a dopravní inženýrství (2301T038)**

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

### **Plnicí potrubí s proměnným průřezem pro 16V motor**

v anglickém jazyce:

#### **Variable Intake manifold for 16V Engine**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Proveďte návrh proměnného plnicího potrubí pro šestnáctiventilový vznětový motor. Zajistěte výkresovou dokumentaci pro výrobu vzorků. Ověřte vliv nového konstrukčního řešení na parametry motoru. Analyzujte naměřené hodnoty.

Cíle diplomové práce:

Získání přehledu a osvojení odborných znalostí o zadané problematice. Vytvoření výrobních výkresů jednotlivých součástí. Posouzení vlivu nového konstrukčního řešení na parametry motoru.

Seznam odborné literatury:

- [1] SVOBODA, Pavel; BRANDEJS, Jan; PROKEŠ, František. Základy konstruování. Vydání třetí. Brno: CERN, 2009. 234 s. ISBN 978-80-7204-633-1.
- [2] CUPÁK, Rostislav, et al. NAFTOVÉ MOTORY ČTYŘDOBÉ. Vydání první. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1955. 415 s.
- [3] KOŽOUŠEK, J.: Konstrukce spalovacích motorů I. SNTL Praha, 1983.
- [4] KOŽOUŠEK, J.: Konstrukce spalovacích motorů II. SNTL Praha, 1983.
- [5] Kolektiv VÚMV a ČKD: Naftové motory čtyřdobé I, II, SNTL. Praha 1962.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Radim Dundálek, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/14.

V Brně, dne 22.11.2013



prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.  
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan



## ABSTRAKT

Cílem diplomové práce je navrhnout plnicí potrubí s proměnným průřezem pro šestnáctiventilový vznětový motor sestávající z dělené komory sání a z děleného ejektoru. Proměnný průřez sacího potrubí je zajištěn vírovou (swirl) klapkou umístěnou v děleném ejektoru. Dalším cílem práce je zajistit výkresovou dokumentaci pro výrobu vzorků. Při návrhu byl použit systém PTC Creo a software GeomCaliper. Byly brány ohledy na vyrobiteľnost součástí odléváním do pískové formy, zejména na zajištění bezproblémového vyjmutí modelů odlitek z formy a jader z jaderníků, a také na obrobiteľnost některých prvků. Úvodní část práce je zaměřena na problematiku emisí vznětových motorů a na možnosti jejich snižování.

## KLÍČOVÁ SLOVA

dělená komora sání, dělený ejektor, odlitek, tloušťka stěny, technologický úkos, Zetor

## ABSTRACT

Aim of the diploma thesis is to design intake ducting with variable cross-section for 16V diesel engine consisting from divided intake manifold and divided ejector. Cross-section variability is ensured by a swirl flap placed in the divided ejector. Next aim of thesis is to provide drawing documentation for production of samples. For designing was used PTC Creo system and software GeomCaliper. Also was taken account of manufacturing of the parts with sand-casting, especially to guarantee trouble-free taking out of models from the moulds, and taking out of cores from core moulds, and also for machinability of some elements. Introduction of thesis is focused on diesel engine emissions and ways of their reduction.

## KEYWORDS

divided intake manifold, divided ejector, casting, wall thickness, technological chamfer, Zetor



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

KONEČNÝ, L. *Plnicí potrubí s proměnným průřezem pro 16V motor*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 60 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Radim Dundálek, Ph.D.



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 28. května 2014

.....

Bc. Lukáš Konečný



## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji především vedoucímu mé diplomové práce, panu Ing. Radimovi Dundálkovi, za cenné odborné rady a náměty. Také chci poděkovat rodině za veškerou jejich podporu při studiu. Dále bych chtěl poděkovat přítelkyni, která mi vždy trpělivě naslouchala a byla mi oporou.



## OBSAH

Úvod .....	9
1 Složení výfukových plynů .....	10
1.1 Charakteristika složek výfukových plynů .....	11
1.2 Legislativa upravující emise výfukových plynů .....	12
2 Možnosti snižování emisí vznětových motorů .....	14
2.1 Aktivní prostředky .....	14
2.1.1 Tvorba směsi .....	14
2.1.2 Vstřikování paliva .....	14
2.1.3 Intenzita víření náplně .....	16
2.1.4 Přepřehování .....	18
2.2 Pasivní prostředky .....	22
2.2.1 Oxidační katalyzátor (DOC) .....	22
2.2.2 Filtr pevných částic (DPF) .....	23
2.2.3 Recirkulace výfukových plynů (EGR) .....	25
2.2.4 Selektivní katalytická redukce (SCR) .....	28
2.2.5 Anti Slip Catalyst (ASC) .....	29
2.2.6 Zásobníkový katalyzátor NO <sub>x</sub> .....	30
3 Seznámení s problematikou .....	31
4 Prvotní konstrukční návrh .....	32
5 Konstrukční úpravy po konzultaci ve slévárně .....	38
5.1 Dělená komora .....	38
5.1.1 Jádra .....	38
5.1.2 Plášť .....	39
5.2 Dělený ejektor .....	45
5.2.1 Plášť .....	45
6 Kontrolní výpočty šroubových spojů .....	48
Závěr .....	52
Seznam použitých zkratk a symbolů .....	55
Seznam obrázků .....	56
Seznam tabulek .....	59
Seznam příloh .....	60



## ÚVOD

Vozidlové spalovací motory při svém provozu produkují ve velkém množství látky, které jsou zdraví škodlivé, ať už tím, že jsou jedovaté, či přímo rakovinotvorné. Tyto látky se z motoru dostávají výfukovým potrubím do atmosféry, a následně velmi výrazně ovlivňují životní prostředí. Tento fakt se začal projevovat ve 40. letech 20. století, kdy přibývalo automobilů a s nimi i problémů v podobě smogu.

Od konce 60. let 20. století roste snaha omezit množství motory emitovaných škodlivých látek, proto byly vytvořeny normy určující maximální povolené množství škodlivých látek ve výfukových plynech, které se stále zpřísňují. V důsledku toho se v posledních letech práce konstruktérů motorů nezabývá ani tak zvyšováním výkonu motorů, jako spíše jejich úpravami a adaptací prostředků umožňujících snížení emisí škodlivých látek na motory. Snižování emisí motorů však souvisí se zvyšováním účinnosti motorů, a snižováním jejich spotřeby, což má příznivý vliv pro uživatele motorových vozidel. Zákazníci však požadují vozidla spolehlivá, a v případě užitkových strojů, jako jsou traktory, i nenáročná na údržbu, čemuž však odporuje nutnost používání mnoha prostředků ke snižování emisí.

K odstranění škodlivin z výfukových plynů lze použít různých prostředků a metod, tyto jsou uvedeny v rešeršní části této práce. Další část práce je věnována návrhu dělené komory a děleného ejektoru, zejména problémům spojeným s jejich výrobou odléváním do pískové formy. Následně se práce věnuje problematice výpočtů šroubových spojů v závitech v navrhovaných součástech.

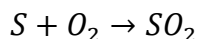


# 1 SLOŽENÍ VÝFUKOVÝCH PLYNŮ

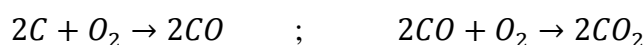
Spalování ve spalovacím motoru je chemická reakce, při které vstupující látky prudce reagují za produkce tepla a světla. Teorie předpokládá, že reakce vodíku a uhlíku z paliva s kyslíkem ze vzduchu produkuje oxid uhličitý  $CO_2$  a vodní páry  $H_2O$ . [2]



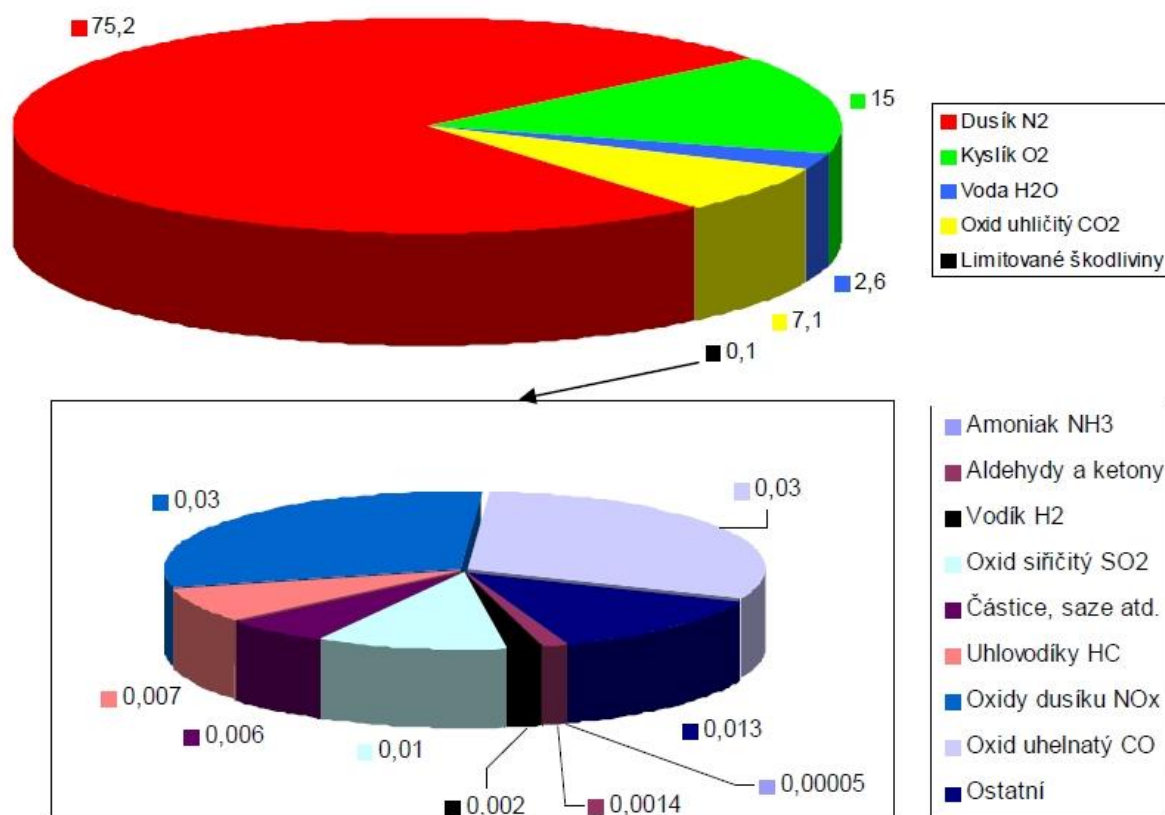
Palivo však obsahuje i síru, byť v minimálním množství, a tato oxiduje na oxid siřičitý. [2]



V praxi však výfukové plyny obsahují i produkty nedokonalého spalování, jako je oxid uhelnatý CO, nespálené uhlovodíky HC, a oxidy dusíku souhrnně označované jako  $NO_x$ . [2]



Výfukové plyny však kromě výše uvedených látek obsahují i jiné sloučeniny, byť některé z nich v malém množství. Typické složení výfukových plynů vznětového motoru je zobrazeno na **obrázku 1**.



Obr. 1 Typické složení výfukových plynů vznětového motoru v % [11]



## 1.1 CHARAKTERISTIKA SLOŽEK VÝFUKOVÝCH PLYNŮ

Tato část práce bude věnována pouze těm složkám výfukových plynů, které jsou omezovány legislativními normami, případně těm, které jsou emitovány v poměrně velkém množství, a mají tedy podstatný vliv na zdraví člověka a životní prostředí.

### OXID UHELNATÝ (CO)

Oxid uhelnatý je bezbarvý plyn bez chuti a zápachu, který je jedovatý. Vzniká při hoření s nedostatkem kyslíku, je tedy produktem nedokonalého spalování. Protože vznětové motory pracují s přebytkem vzduchu, je obsah CO ve výfukových plynech u vznětového motoru jen asi 10 % oproti množství ve výfukových plynech motoru zážehového. Nebezpečnost CO spočívá v tom, že při vdechnutí reaguje s krevním barvivem, a zabraňuje tak přenosu kyslíku krví. Nízké koncentrace způsobují bolest hlavy a zpomalují fyzické i duševní aktivity, zatímco vysoké koncentrace způsobují bezvědomí a následnou smrt. Pokud nebylo tělo vystaveno působení CO po dlouhou dobu, je lidské tělo schopno se CO na čerstvém vzduchu zbavit. [1, 2]

### NESPÁLENÉ UHLOVODÍKY (HC)

Označení nespálené uhlovodíky zahrnuje jak nespálené uhlovodíky z paliva, tak uhlovodíky vzniklé termochemickými reakcemi během spalování, i produkty vzniklé jejich oxidací. Nespálené uhlovodíky vznikají při nedokonalém spalování, zejména při spalování při nedostatku kyslíku. Výfukové plyny obsahují velké množství různých uhlovodíků, jejich nebezpečí spočívá zejména v tom, že některé z nich jsou karcinogenní, a jiné dráždí oči a sliznice dýchacích cest. HC také přispívají k tvorbě kyselých dešťů a fotochemického smogu. [1, 2]

### OXID SIŘIČITÝ (SO<sub>2</sub>)

Oxid siřičitý je bezbarvý, štiplavě páchnoucí plyn, vznikající spalováním paliva s obsahem síry. Tento plyn se v ovzduší postupnou oxidací mění na oxid sírový (SO<sub>3</sub>), který se vzdušnou vlhkostí reaguje na kyselinu sírovou (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), a spolu s kyselinou siřičitou (H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>) je příčinou kyselých dešťů. Legislativa neomezuje množství SO<sub>2</sub> ve výfukových plynech, normou EN 590 je ale omezeno množství síry v motorové naftě, které od roku 2009 činí max. 0,001 %, což představuje 10 mg síry na 1 kg paliva. [1]

### OXIDY DUSÍKU (NO<sub>x</sub>)

Jako oxidy dusíku se označují oxid dusitý (NO) a oxid dusičitý (NO<sub>2</sub>), které se vyskytují ve výfukových plynech spalovacích motorů. Oba tyto plyny vznikají za vysokých spalovacích teplot (cca od 1370°C) a tlaků, a to zejména při dostatku kyslíku. Nejprve se tvoří NO, jehož následnou oxidací vzniká NO<sub>2</sub>. NO je bezbarvý plyn bez chuti a zápachu. NO<sub>2</sub> je červeno-hnědý, pronikavě páchnoucí plyn, který je jedovatý, a má velmi nepříznivé účinky na dýchací soustavu, jejíž obranyschopnost snižuje již při malých koncentracích, a také celkově zhoršuje její funkci. Nebezpečí NO<sub>x</sub> spočívá také v tom, že reagují se vzdušnou vlhkostí a způsobují kyselé deště. Spolu s HC jsou taktéž příčinou smogu. [1, 2]

### OXID UHLIČITÝ (CO<sub>2</sub>)

Oxid uhličitý je bezbarvý plyn lehce štiplavé vůně a chuti. Není jedovatý, a pro živočichy tedy nepředstavuje žádné nebezpečí, naopak je „potravinou“ rostlin. Jeho škodlivost spočívá v tom, že se podílí na skleníkovém efektu, a tedy postupném oteplování planety. Množství



CO<sub>2</sub> uvolněného do ovzduší spalovacími motory je určeno prakticky jen spotřebou paliva. Snížení množství CO<sub>2</sub> uvolňovaného motory je tak možné buď snížením spotřeby paliva, nebo výměnou standardního paliva za palivo s nízkým obsahem uhlíku, tedy ideálně vodíku, případně metanu, s čímž jsou však spojeny jiné komplikace. [1, 2]

### PEVNÉ ČÁSTICE (PM)

Pevné částice, označované jako PM z anglického Particulate Matter, jsou látky pevného skupenství vznikající při nedokonalém spalování za nedostatku kyslíku. Lze je definovat jako pevné látky, které se při teplotách vyšších než 52°C mohou vyskytovat i v kapalném stavu. Tyto částice jsou tvořeny mnoha různými látkami, jejich složení je tedy velmi různorodé a závisí na technologii motoru, a také na používaném palivu a provozních hmotách. Nejvíce zastoupenou složkou PM z výfukových plynů vznětových motorů jsou saze, což jsou kuličky uhlíku o průměru cca 0,05 μm. Na tyto se nabalují uhlovodíky (vzniklé reakcí při spalování paliva, a také oleje a jejich aditiva), oxidy síry, vodní pára, karbon uvolněný ze spalovacího prostoru, a také velmi malé kousky kovů uvolňující se otěrem z pístní skupiny a prostoru válce motoru, stejně jako jejich oxidy. Mohou být přítomny také prvky z aditiv olejů, jako např. zinek, fosfor, hořčík či molybden. Přítomnost pevných částic ve výfukových plynech se pozná podle černého kouře typického pro vznětové motory. Nebezpečí pevných částic spočívá v tom, že jsou velmi malé, ale s velkou povrchovou plochou, a mnoho látek, zejména uhlovodíků vzniklých během spalování a nabalujících se na PM, je jedovatých a karcinogenních, a jelikož PM jsou velmi lehké, mohou se při vdechnutí dostat až do nejzazších koutů plic, kde způsobují rakovinné bujení. [4,1]

## 1.2 LEGISLATIVA UPRAVUJÍCÍ EMISE VÝFUKOVÝCH PLYNŮ

Množství škodlivých látek emitovaných spalovacími motory je omezeno legislativními normami vydávanými Evropskou unií. Emise silničních vozidel jsou omezovány normami EURO, emise nesilničních vozidel jsou omezovány normami Stage. Ekvivalentem evropských norem Stage jsou v Severní Americe normy Tier. Nesilničními vozidly spadajícími do norem Stage jsou traktory, lesnické stroje, stabilní motory a jiné. Vzhledem k tomu, že tato práce se zabývá traktorovým motorem, v **tabulce 1** je uveden vývoj pouze norem Stage, a to pro vznětové motory. Z této tabulky je zřejmé, že nároky na plnění emisních norem vznětovými motory stále rostou. Aktuálně poslední norma, která začíná být platnou v tomto roce, výrazně omezuje emise NO<sub>x</sub>.



Tab. 1 Hodnoty emisních limitů pro nesilniční vozidla norem Stage pro vznětové motory [3]

Výkon P [kW]	Platnost	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM
			HC + NO <sub>x</sub> [g/kWh]		
Stage I					
130 ≤ P ≤ 560	01. 1999	5.0	1.3	9.2	0.54
75 ≤ P ≤ 130	01. 1999	5.0	1.3	9.2	0.70
37 ≤ P ≤ 75	04. 1999	6.5	1.3	9.2	0.85
Stage II					
130 ≤ P ≤ 560	01. 2002	3.5	1.0	6.0	0.2
75 ≤ P ≤ 130	01. 2003	5.0	1.0	6.0	0.3
37 ≤ P ≤ 75	01. 2004	5.0	1.3	7.0	0.4
18 ≤ P ≤ 37	01. 2001	5.5	1.5	8.0	0.8
Stage III A					
130 ≤ P ≤ 560	01. 2006	3.5	4.0		0.2
75 ≤ P ≤ 130	01. 2007	5.0	4.0		0.3
37 ≤ P ≤ 75	01. 2008	5.0	4.7		0.4
19 ≤ P ≤ 37	01. 2007	5.5	7.5		0.6
Stage III B					
130 ≤ P ≤ 560	01. 2011	3.5	0.19	2.0	0.025
75 ≤ P ≤ 130	01. 2012	5.0	0.19	3.3	0.025
56 ≤ P ≤ 75	01. 2012	5.0	0.19	3.3	0.025
37 ≤ P ≤ 56	01. 2013	5.0	4.7		0.025
Stage IV					
130 ≤ P ≤ 560	01. 2014	3.5	0.19	0.4	0.025
56 ≤ P ≤ 130	10. 2014	5.0	0.19	0.4	0.025



## 2 MOŽNOSTI SNIŽOVÁNÍ EMISÍ VZNĚTOVÝCH MOTORŮ

Omezování množství škodlivin emitovaných motory na hodnoty určené legislativou je značně obtížné, je tedy nutno k tomuto použít speciálních prostředků. Podle toho, kde tyto prostředky působí, se dělí na prostředky aktivní a pasivní.

### 2.1 AKTIVNÍ PROSTŘEDKY

Aktivní prostředky snižují množství škodlivin tím, že ovlivňují proces přípravy směsi a jejího hoření ve válci motoru. Prostředky patřící do této skupiny jsou popsány níže.

#### 2.1.1 TVORBA SMĚSI

U vznětových motorů se výkon řídí kvalitativně, tedy změnou obsahu paliva ve směsi palivo-vzduch, proto vznětové motory pracují s přebytkem vzduchu. Stechiometrický směšovací poměr ( $\lambda \approx 1$ ) je u vznětových motorů asi 14,5 kg vzduchu na 1 kg paliva. Mez kouření vznětových motorů je však pro  $\lambda \approx 1,4$ , a to z důvodu nerovnoměrné tvorby směsi, jelikož směs se tvoří až ve válci. Moderní vznětové motory pracují při chodu na prázdko s velmi chudou směsí ( $\lambda \approx 3,4$ ), při plném zatížení je směs obohacena až na mez kouření  $\lambda \approx 1,4$ . [7]

Ve vznětových motorech se směs tvoří až ve spalovacím prostoru, podle kterého můžeme motory dělit na motory s přímým vstřikem a s nepřímým vstřikem. U motorů s nepřímým vstřikem se palivo vstřikuje do děleného spalovacího prostoru, tzv. komůrky, zpravidla umístěné v hlavě válce, která je se zbytkem spalovacího prostoru spojena jedním či více kanálky. Motory s přímým vstřikem paliva se vyznačují tím, že spalovací prostor je vytvořen ve dně pístu. Do této prohlubně se vstřikuje palivo, které se po odpaření vznítí a prudce hoří. Příprava směsi vznětových motorů výrazně ovlivňuje užitečný výkon, spotřebu paliva, emise výfukových plynů i hluku vzniklého při spalování. Podstatnou roli přitom hraje provedení vstřikovacího zařízení a jeho regulace, přičemž tvoření směsi, a následně i průběh spalování, ovlivňují následující činitelé [7]:

- začátek dodávky paliva a začátek vstřiku
- doba vstřiku, průběh vstřiku
- vstřikovací tlak
- směr vstřikování, počet vstřikovacích paprsků a jejich průřez
- přebytek vzduchu
- rozvíření vzduchu ve válci

#### 2.1.2 VSTŘIKOVÁNÍ PALIVA

Předpokladem pro účinné spalování je vznik homogenní směsi vzduchu a paliva, které musí být co nejjemněji rozprášeno, k čemuž je nutné výkonné vstřikovací zařízení pracující s vysokými vstřikovacími tlaky a umožňující přesně regulovat počátek vstřiku a množství vstříknutého paliva. Důležité je také geometrické provedení vstřikovacích otvorů. Je důležité, aby vstřikovaný paprsek paliva dosáhl i do těch nejvzdálenějších míst spalovacího prostoru, ale aby zároveň nedopadal na povrch stěn, což by vedlo k vysoké produkci HC a pevných částic. Pro dobré využití vzduchu je rovněž nutné použít trysky s více otvory (nejčastěji 4 až 8), zajistit usměrněný pohyb náplně, a přizpůsobit tvar vstřikovaného paprsku kompresnímu prostoru. [1]

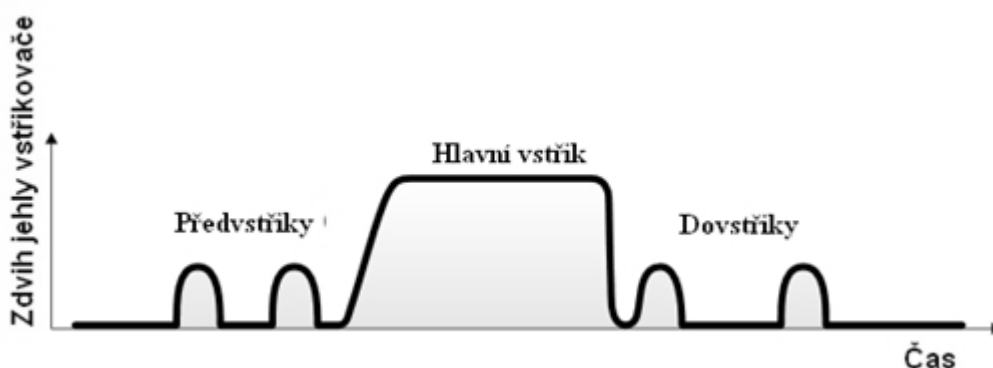
Počátek a průběh vstřiku mají také značný vliv na emise výfukových plynů a spotřebu paliva, a i nepatrná odchylka od optimálních hodnot znamená větší množství emisí, hlučnější



spalování a vyšší spotřebu. Zpoždění počátku vstřiku snižuje množství emisí  $\text{NO}_x$  vlivem nižší spalovací teploty cyklu a způsobuje nárůst teploty výfukových plynů, čehož se využívá pro regeneraci filtru pevných částic. Zpoždění o  $2^\circ$  otočení klikové hřídele znamená zvýšení teploty spalin o  $20^\circ\text{C}$ . Po dosažení určité hodnoty úhlu zpoždění však dochází k prudkému nárůstu emisí HC a pevných částic. Dřívější vstřik naopak způsobuje zvýšení špičkového tlaku ve válci. [1]

Pro dosažení co nejkvalitnějšího průběhu spalování je také nutno regulovat hmotnostní tok vstřikovaného paliva. Před hlavním vstřikem je nutné provést předvstřik, což je vstříknutí malého množství paliva. Palivo se vznítí a způsobí nevýrazné zvýšení tlaku, ale především zvýší teplotu ve spalovacím prostoru. Hlavní dávka paliva je tedy dopravována při vyšší teplotě ve spalovacím prostoru a má menší průtah vznícení. Ten lze popsat jako prodlevu mezi počátkem vstřiku a hořením, které je doprovázeno pozorovatelným nárůstem tlaku. Pokud by bylo vstříknuto najednou větší množství paliva bez předvstřiku, dojde ke skokovému zvýšení tlaku, což se negativně projevuje tvrdým chodem motoru a nárůstem emisí  $\text{NO}_x$ . Použití předvstřiku tedy napomáhá ke zkrácení průtahu vznícení na minimum. Nárůst tlaku ve spalovacím prostoru bude pozvolný a důsledkem toho bude tišší spalování a dojde k redukci emisí  $\text{NO}_x$ . Na pozvolný průběh hoření, zejména v případě částečně homogenní směsi, má také kladný vliv recirkulace výfukových plynů. V případě, že došlo ke vstříknutí většího množství paliva, se toto palivo kvůli recirkulovaným spalinám nevznítí najednou a neshoří nedokonale. Průběh vstřikovacího tlaku musí rovněž stoupat, aby se zamezilo vzniku teplotních špiček, které podporují růst emisí  $\text{NO}_x$ . Na konci vstřiku potom vstřikovací tlak musí rychle opadnout a jehla trysku co nejrychleji uzavřít. Tím se zamezí vniknutí větších kapiček paliva pod malým tlakem do spalovacího prostoru a jejich následnému nedokonalému spálení. [1]

Výše uvedeného lze využít při použití vstřikovacího systému Common Rail od firmy Bosch. Čtvrtá generace tohoto systému umožňuje vstříknout palivo do válce až šestkrát během cyklu, jelikož k ovládání vstřikovacích trysek používá piezoelektrických krystalů. Jeden nebo dva předvstřiky například zabrání krátce po studeném startu vzniku bílého a modrého kouře a také hluku způsobenému spalováním. Dovstřik bezprostředně po hlavním vstřiku snižuje emise sazí, dalším vstřikem lze regenerovat filtr pevných částic. Na **obrázku 2** je zobrazen přibližný průběh jednotlivých vstřiků u systému Common Rail. [18, 1]

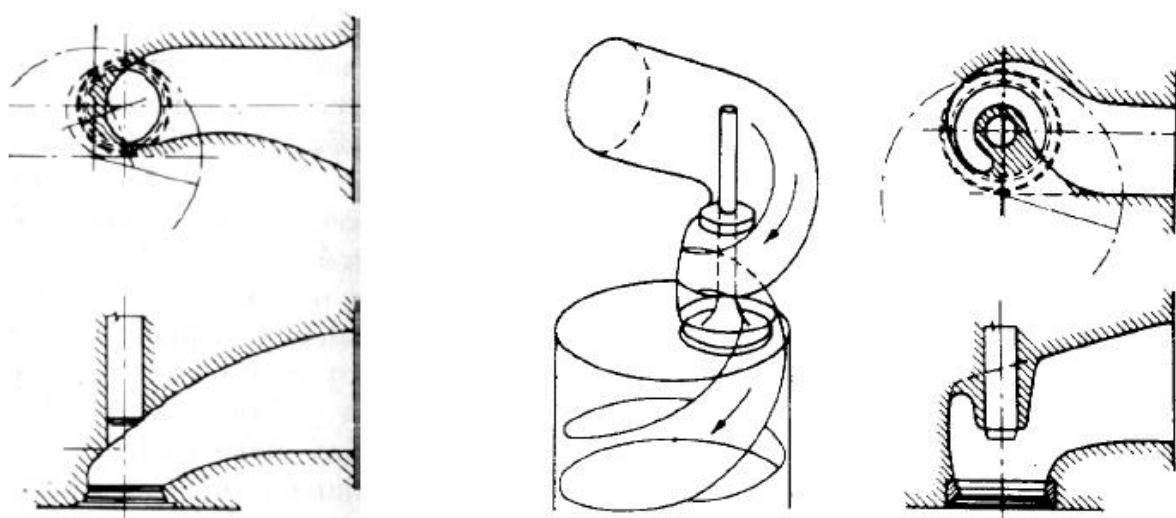


Obr. 2 Přibližný průběh vstřiku paliva u systému Common Rail [19]



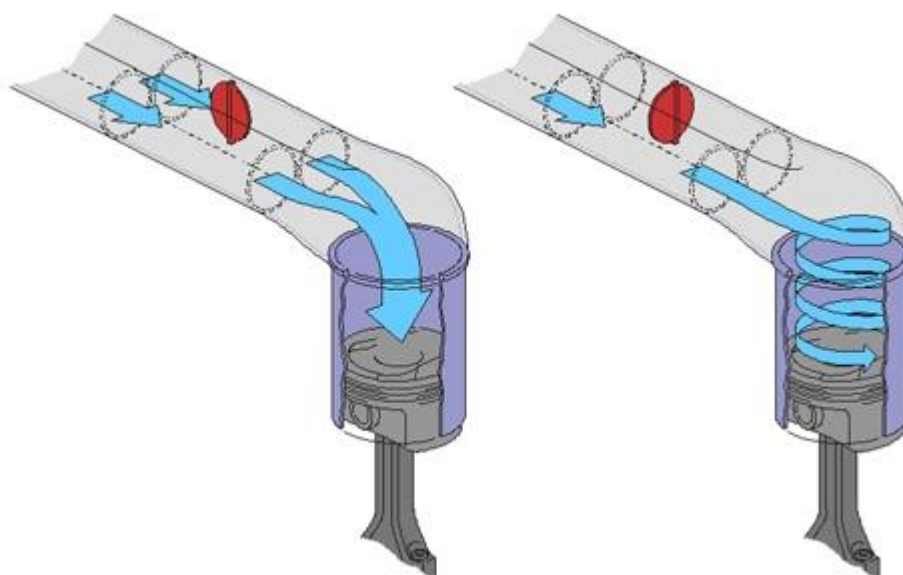
### 2.1.3 INTENZITA VÍŘENÍ NÁPLNĚ

Pro optimální průběh hoření zabezpečující malou měrnou spotřebu paliva a nízké emise je vhodné, aby směs paliva se vzduchem ve válci rotovala. Vyvolání rotace náplně zabezpečuje tangenciální kanál (vlevo na **obrázku 3**). U některých čtyřventilových hlav je použita kombinace přímého a tangenciálního kanálu. Přímý kanál zabezpečuje co nejlepší naplnění válce motoru při vysokých otáčkách a zatížení motoru, tangenciální kanál pak vhodné rozvíření při nízkých otáčkách a zatížení. Šroubový kanál (na **obrázku 3** vpravo) je používán u vznětových motorů s přímým vstřikem paliva. Zabezpečuje vytvoření intenzivního radiálního víru potřebného pro dokonalé spálení vstřikovaného paliva. Jeho nevýhodou je nárůst odporu sání a poměrně vysoká stavební výška zvyšující celkovou výšku hlavy motoru. [16]



Obr. 3 Tangenciální a šroubový sací kanál [16]

Existují i řešení, kdy přímý kanál je při malých otáčkách uzavřen, k tomu slouží **vírová klapka** (také swirl klapka, anglicky swirl flap), která se používá u vznětových motorů, a způsobuje, že vzduch ve válci rotuje kolem osy válce (viz **obrázek 4**). Tento vír zlepšuje promísení směsi v nízkých otáčkách motoru. Vírové klapky jsou ovládány podtlakovým nebo solenoidovým aktuátorem, a jak již bylo zmíněno, jsou zavřeny při nízkých otáčkách motoru za účelem dosažení co nejlepšího plnění motoru, což snižuje spotřebu paliva a emise, a mohlo by zvýšit točivý moment motoru. Plně otevřeny jsou vírové klapky ve vyšších zatíženích, aby se maximalizovala plnicí účinnost motoru a jeho výkon. Klapka je otevřena také při startu motoru. Vírová klapka je použita u vznětových motorů značek BMW a Opel. Jak může vypadat vírová klapka v sacím potrubí je zřejmé z **obrázku 5**. Je nutno podotknout, že vírovou klapkou není sací kanál uzavřen zcela, ale odpor proudění klapkou vyvolaný je dostatečný k tomu, aby plnění válce motoru probíhalo téměř pouze jedním sacím kanálem. [23, 24, 16, 25]

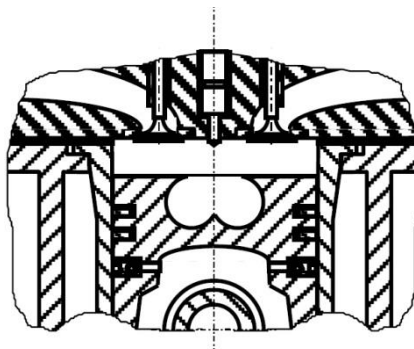


Obr. 4 Funkce vírové klapky [23]



Obr. 5 Pohled na vírovou klapku [23]

Důležitou roli během přípravy náplně a průběhu hoření hraje také tvar spalovacího prostoru ve dně pístu. V současné době se používají u vznětových motorů s přímým vstřikováním výhradně prstencovité (toroidní) spalovací prostory (na **obrázku 6**). Tvar spalovacího prostoru také výrazně přispívá k tvorbě tangenciálního a radiálního víru na konci kompresního zdvihu, tedy během počátku vstřikování. Pro zmenšení emisí je také důležité minimalizovat jalové objemy pístu, což jsou vybrání pro ventily, a také volný prostor mezi pístem a válcem v rozmezí od prvního pístního kroužku až po hlavu motoru. V těchto místech totiž dochází k nedokonalému spalování. [1]



Obr. 6 Toroidní spalovací prostor ve dně pístu [17]

#### 2.1.4 PŘEPLŇOVÁNÍ

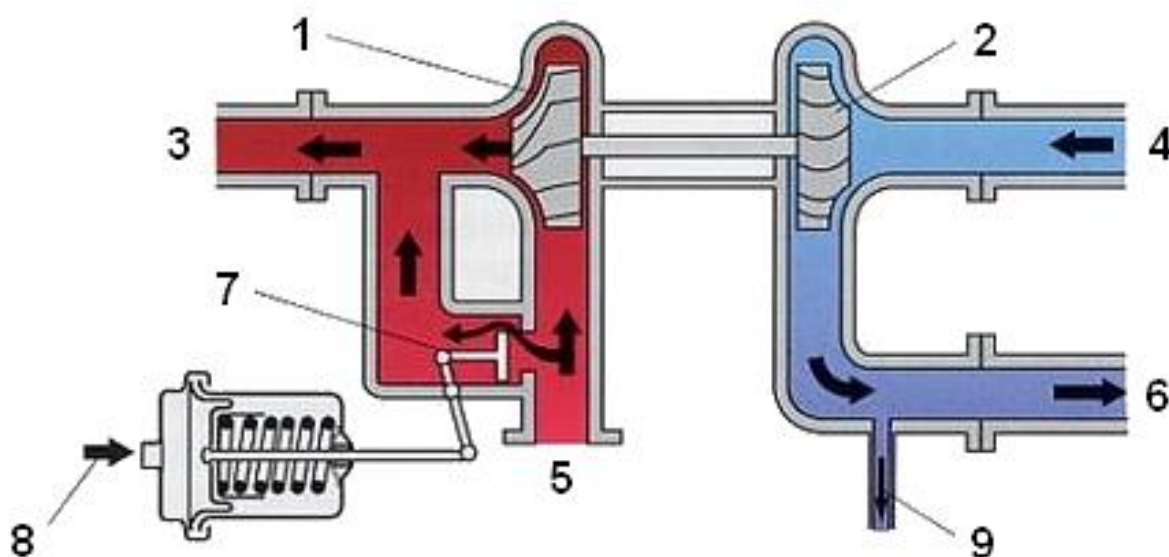
Přeplňování spalovacích motorů slouží hlavně ke zvýšení výkonu motoru při zachování jeho zdvihového objemu, případně ke snížení rozměrů motoru za zachování jeho výkonu. Přeplňováním se dostává do pracovního prostoru motoru více vzduchu, a tak je možno zvětšit i dávku dodávaného paliva na jeden pracovní oběh. K přeplňování vznětových motorů se používají výhradně turbodmychadla poháněná výfukovými plyny, a přeplňování může být realizováno jako jednostupňové, případně dvoustupňové. Z důvodu zvětšení objemové účinnosti motoru je plnicí vzduch ochlazován v mezichladiči vzduchu umístěném za kompresorem turbodmychadla, neboť během stlačování vzduchu roste jeho teplota, což nepříznivě působí na plnění motoru. V porovnání s motory s přirozeným sáním mají přeplňované motory podstatně vyšší výkon při poměrně malém zvýšení spotřeby paliva, a také menší množství emisí škodlivin ve výfukových plynech. Vyšší plnicí tlak totiž způsobuje vyšší teploty spalování, což se kladně projevuje snížením množství emisí CO, HC a pevných částic, naproti tomu se však zvyšuje tvorba oxidů dusíku. [1, 21]

Aby motor s přeplňováním poskytoval vysoký točivý moment již v nízkých otáčkách, a zároveň aby plnicí tlak ve vysokých otáčkách motoru nepřekročil určitou mez, je nutné turbodmychadlo regulovat. Limitními faktory přeplňování jsou maximální spalovací tlaky a teploty, a také teploty výfukových plynů před turbínou. Mezi nejpoužívanější způsoby regulace patří [1, 21]:

- regulace pomocí obtokového regulačního ventilu plnicího tlaku
- regulace natáčením lopatek statoru turbodmychadla s variabilní geometrií

#### REGULACE POMOCÍ OBTOKOVÉHO REGULAČNÍHO VENTILU PLNICÍHO TLAKU

Tento způsob regulace je pasivní, konstrukčně jednodušší, a tak se používá nejčastěji. Turbodmychadlo je v tomto případě navrženo tak, aby dodávalo poměrně velké množství vzduchu již v nízkých otáčkách motoru. Po dosažení určitého plnicího tlaku se otevře obtokový ventil (tzv. bypass) a část výfukových plynů je vedena obtokovým potrubím za turbínu. Tím, že část plynů neprochází přes turbínu, se účinnost turbodmychadla sníží. Schéma principu odpouštění výfukových plynů je na **obrázku 7**. [21]



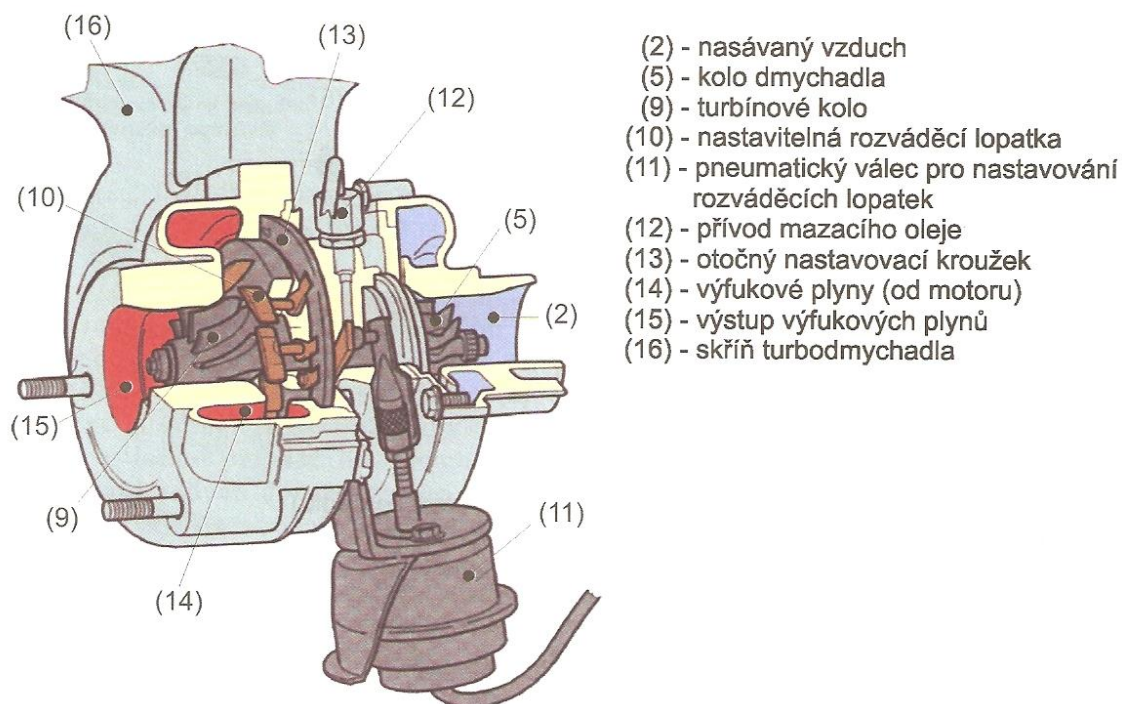
Obr. 7 Princip odpouštění výfukových plynů před turbínou [22]

**Legenda k obr. 7:**

1) Turbínové kolo turbodmyhadla, 2) Kompresorové kolo, 3) Výstup výfukových plynů, 4) Nasávaný vzduch, 5) Vstup výfukových plynů, 6) Výstup stlačeného vzduchu, 7) Obtoková klapka 8) Ovládací tlak vzduchu z regulátoru obtokového ventilu, 9) Tlak vzduchu vstupující ze sacího potrubí do regulátoru obtokového ventilu

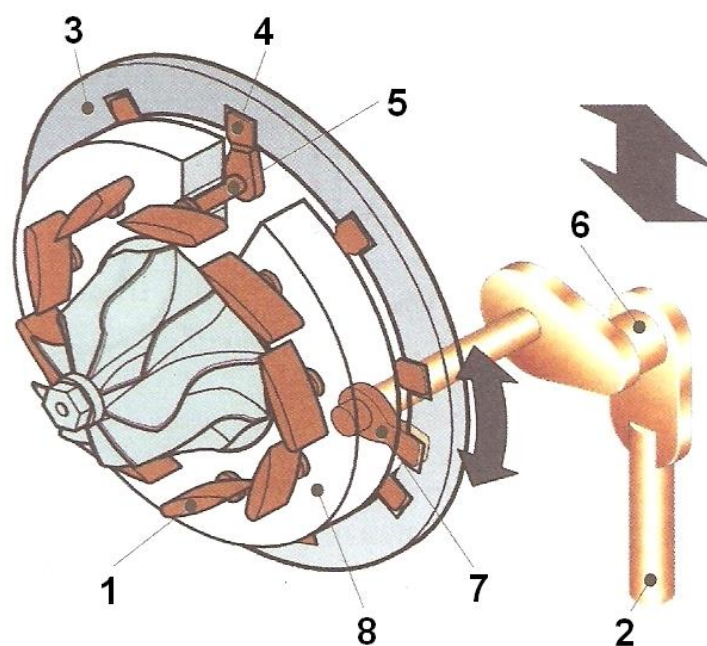
**REGULACE NATÁČENÍM LOPATEK STATORU TURBODMYHADLA S VARIABILNÍ GEOMETRIÍ**

V případě, kdy tlak turbodmyhadla není regulován obtokovým ventilem, ale nastavitelnými lopatkami statoru v turbínové skříni, jde o aktivní regulaci. Takto regulovaná turbodmyhadla se označují jako turbodmyhadla s variabilní geometrií, případně zkratkou VGT (Variable Geometry Turbocharger). Turbodmyhadlo s variabilní geometrií je zobrazeno na **obrázku 8**. Na rozdíl od regulace obtokem prochází v tomto případě turbínou stále celý objem výfukových plynů. Rozváděcí lopatky řídí proud výfukových plynů tak, že turbína pracuje nezávisle na otáčkách motoru, a tedy nezávisle na okamžitém objemu výfukových plynů. Pohyb nastavitelných lopatek zajišťuje ovládací pneumatický válec. [21]



Obr. 8 Řez turbodmychadlem s variabilní geometrií [21]

Na rozdíl od turbodmychadla s obtokovým ventilem se u turbodmychadla s variabilní geometrií nereguluje plnicí tlak jen v horním rozsahu otáček, ale v celém rozsahu pracovních otáček motoru. Velikost průřezu, kterým do turbíny proudí výfukové plyny, je ovlivňována nastavitelnými lopatkami rozmístěnými kolem turbíny. Schéma ovládání nastavitelných lopatek je zobrazeno na **obrázku 9**.

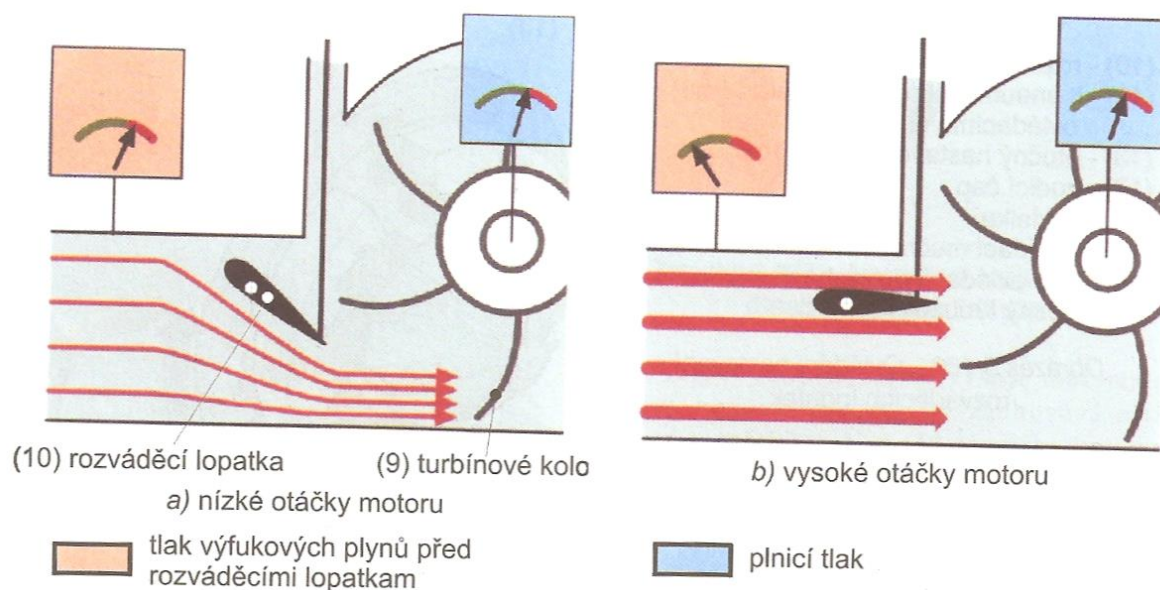


Obr. 9 Ovládání nastavení rozváděcích lopatek [21]

**Legenda k obr. 9:**

1) Rozváděcí lopatka, 2) Táhlo k podtlakovému ovládacímu válci, 3) Otočný nastavovací kroužek, 4) Vodící čep, 5) Hřídelka, 6) Ovládací mechanismus, 7) Čep ovládacího mechanismu 8) Nosný kroužek

Turbínou trvale proudí celý objem výfukových plynů produkovaných motorem, a pneumatický válec pomocí ovládacího mechanismu pohybuje otočným kroužkem, čímž nastavuje polohu rozváděcích lopatek. Pro regulaci plnicího tlaku se využívá toho, že konstantní objem plynu proudí tím rychleji, čím menší průřez má potrubí, kterým proudí. V nízkých otáčkách motoru je požadován dostatečný plnicí tlak. Pomocí nastavitelných lopatek se zmenší průřez, kterým proudí výfukové plyny. Tyto potom proudí rychleji, a roztáčejí turbínu do vyšších otáček. Díky těmto vysokým otáčkám je plnicí tlak dostatečný již při nízkých otáčkách motoru. Naopak ve vysokých otáčkách nesmí být překročen maximální plnicí tlak. Rozváděcí lopatky se natočí tak, aby se zvětšil průřez, kterým proudí výfukové plyny, a tím je plnicí tlak dodávaný turbodmychadlem zachován. Na **obrázku 10** je zobrazeno, jak se změní proudění výfukových plynů při různých otáčkách motoru. [21]



Obr. 10 Proudění výfukových plynů na lopatky turbíny při různých otáčkách motoru [21]

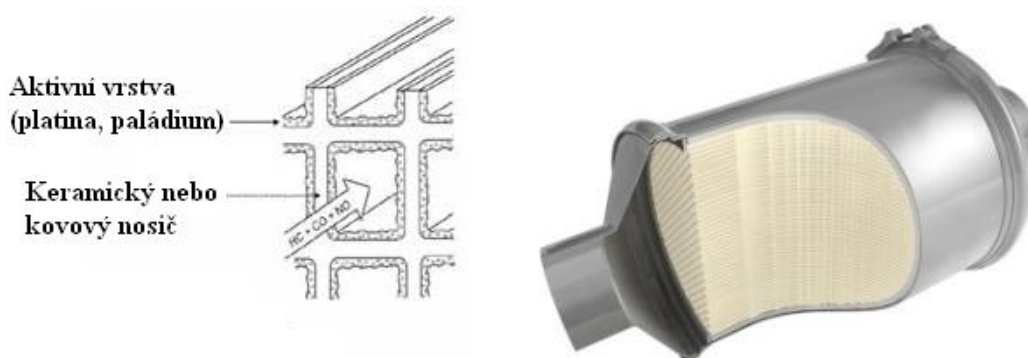
## 2.2 PASIVNÍ PROSTŘEDKY

Naopak jako pasivní prostředky se označují způsoby snižování emisí ve výfukovém traktu, tedy bez vlivu na přípravu směsi a její spalování.

### 2.2.1 OXIDAČNÍ KATALYZÁTOR (DOC)

Oxidační katalyzátor označovaný jako DOC z anglického Diesel Oxidation Catalyst vytváří podmínky pro reakci omezených složek CO a HC, to vede k jejich přeměně na méně škodlivé  $\text{CO}_2$  a  $\text{H}_2\text{O}$ . Oxidační katalyzátor umožňuje snižovat plynné emise CO a HC až o 90 % při dostatku kyslíku ve výfukových plynech, tzn.  $\lambda > 1$ . Vedle toho může také omezovat HC unášené na pevných částicích. [13]

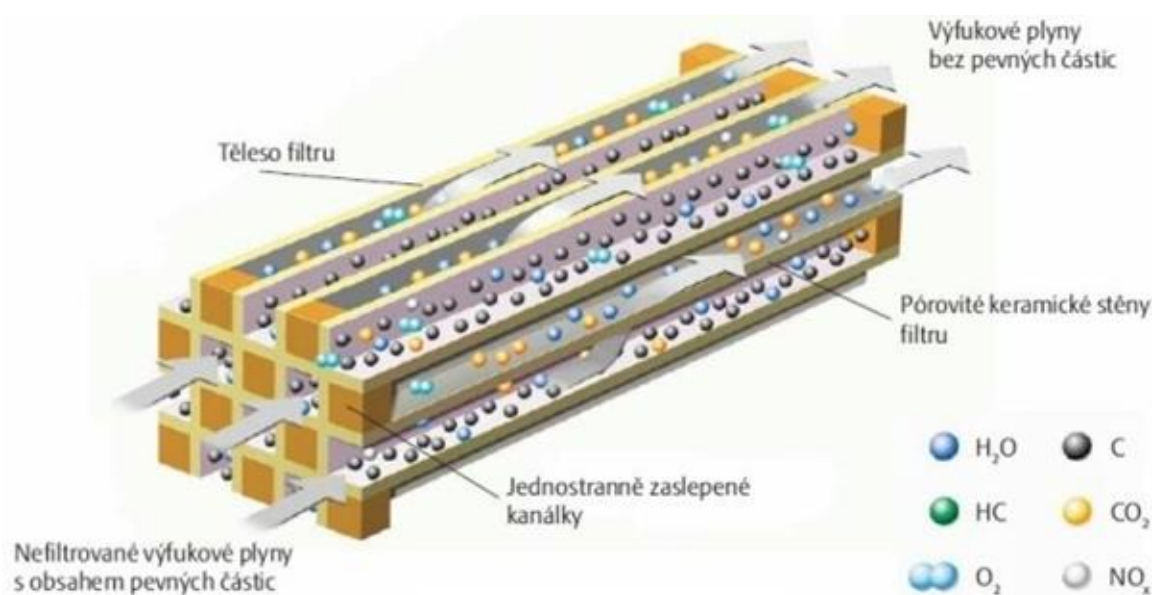
DOC je tvořen nerezovým obalem, ve kterém je uložen nosič (kovový nebo keramický) s aktivní vrstvou, viz **obrázek 11**. Uvnitř monolitu se nachází velké množství tenkostěnných, axiálně řazených kanálků (s tloušťkou stěny cca 0,15 – 0,3 mm), kterými proudí výfukové plyny. Počet kanálků se pohybuje mezi 62 - 65 na  $1 \text{ cm}^2$ . V příčném průřezu mají kanálky nejčastěji obdélníkový nebo čtvercový průřez. Povrch nosiče je potažen nosnou porézní vrstvou z oxidu hlinitého ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), která zvětšuje účinnou plochu. Na ní je nanášena účinná vrstva katalyzátoru z ušlechtilých kovů, nejčastěji platiny nebo paládia. Šířka kanálků je přibližně 1 mm, což postačuje k činnosti katalyzátoru. [13]



Obr. 11 Oxidační katalyzátor [13,15]

## 2.2.2 FILTR PEVNÝCH ČÁSTIC (DPF)

Filtr pevných částic, často označovaný jako DPF z anglického Diesel Particulate Filter, je zařízení, které vznětovým motorům umožňuje dosáhnout plnění emisních limitů tím, že sníží množství pevných částic uvolněných motorem do ovzduší. [5,1]



Obr. 12 Filtr pevných částic [5]

Filtry pevných částic obvykle tvoří těleso lepené ze segmentů, které jsou tvořeny voštinovou strukturou karbidu křemíku, mohou však být tvořeny také jedním kusem, který bývá vyroben z cordieritu. Toto těleso je umístěno v kovovém plášti. Výfukové plyny přicházející do filtru procházejí pórovitou keramickou stěnou, která zachytí pevné částice, naopak plynné látky jí proniknou, což je schematicky zobrazeno na **obrázku 12**. Jelikož pevné částice pozvolna „ucpávají“ filtr pevných částic, je zapotřebí vždy po nějaké době filtr regenerovat. Tato regenerace je proces, kdy pevné částice hoří ve filtru částic, a přeměňují se na  $\text{CO}_2$  a jiné plyny. O tomto procesu řidič vůbec neví, probíhá však pouze za vyšších teplot spalin (cca  $600\text{--}650^\circ\text{C}$ ), které nastávají pouze při nejvyšší zátěži motoru. Pokud by však motor byl po dlouhou dobu provozován v nižší zátěži, hrozilo by ucpání filtru, proto se zápalné teploty dosahuje následujícími třemi způsoby. [5,1]



### SYSTEM S ADITIVEM

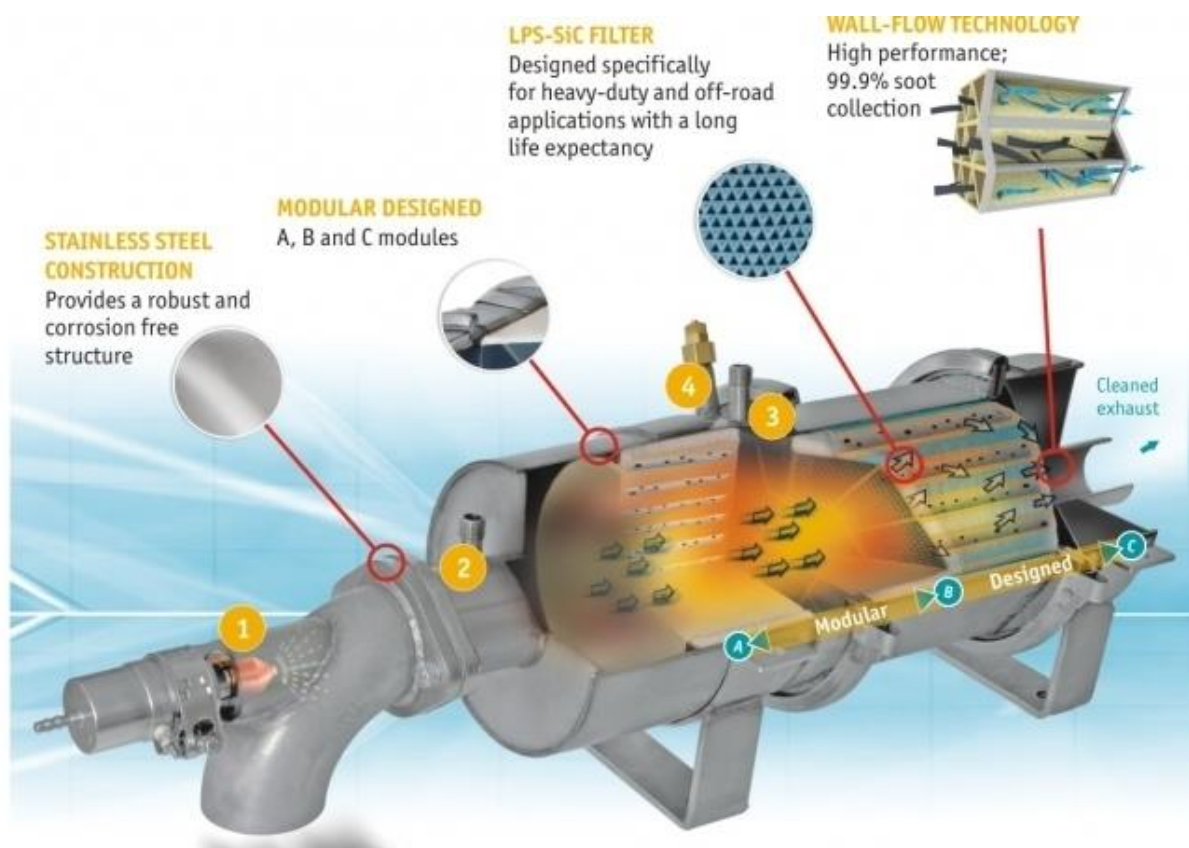
Vozy, které mají ze zástavbových důvodů DPF umístěný dále od motoru, je nutno vybavit systémem s aditivem, protože teplota výfukových plynů ani při maximálním zatížení nedosahuje teploty vzplanutí pevných částic. Aditivum je z přídatné nádržky dávkováno do nádrže při každém tankování, a snižuje teplotu vzplanutí pevných částic. Aditivum však vydrží pouze po určitou dobu, u osobních vozů cca 100 000 km, a jeho množství je kontrolováno elektronikou, která při snížení množství aditiva řidiče vyzve k návštěvě servisu. [5]

### SYSTEM BEZ ADITIVA

Další možností je systém, kdy nejsou do paliva přidávána žádná aditiva. Tento systém se nazývá kontinuální regenerační systém, častěji se označuje zkratkou **CRT** z anglického *Continuously Regenerating Trap*, a používá se, pokud je filtr pevných částic umístěn dostatečně blízko motoru, a teplota spalin je tak dostatečná pro zapálení pevných částic. Tento systém se skládá z oxidačního katalyzátoru, který je předřazen filtru pevných částic DPF, a umožňuje kontinuální regeneraci filtru při nižších teplotách, než je teplota vznícení pevných částic. Oxidační katalyzátor vytváří podmínky pro reakci omezovaných složek CO, HC a NO (95 % z NO<sub>x</sub>) s kyslíkem, to vede k jejich přeměně na méně škodlivé CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O a NO<sub>2</sub>. Pomocí vyššího obsahu NO<sub>2</sub> ve výfukových plynech, který působí jako oxidační činitel, lze spalovat pevné částice při nižších teplotách, cca 300 °C – 450 °C. Při teplotách pod 300 °C probíhá oxidace pevných částic velmi pomalu, naopak nad teplotou 450 °C dochází k rozpadu NO<sub>2</sub>. Proces regenerace probíhá účinně tehdy, jestliže je poměr NO<sub>2</sub> k pevným částicím větší než (8-20):1. [1, 6, 14]

### SYSTEMY SE VSTŘIKEM NAFTY DO VÝFUKOVÉHO POTRUBÍ

Vývojově nejnovější možností regenerace filtru pevných částic je vstříknutí paliva přímo do výfukového potrubí. Rozdíl proti předchozím systémům spočívá v použití modulu umístěného ve výfukovém potrubí před oxidačním katalyzátorem. Tento modul je tvořen vstříkovačem a žhavicí svíčkou. Během aktivní regenerace je vstříknuta nafta, která se za působení tepla ze žhavicí svíčky odpaří. Takto obohacené výfukové plyny vstupují do oxidačního katalyzátoru umístěného těsně před filtrem pevných částic. Zde díky katalytickým kovům dochází k reakci odpařeného paliva s kyslíkem a jeho vznícení. Takto vzniklý plamen sahá až do filtru pevných částic a vypaluje usazené částice. Pro regeneraci filtru tedy není nutný dodatečný vstřík paliva během expanzního zdvihu, ale dosažení potřebné teploty pro regeneraci je zajištěno hořením odpařeného paliva v oxidačním katalyzátoru. Regenerace tedy může probíhat v širším spektru provozních situací a postačuje k tomu teplota výfukových plynů na vstupu do filtru pevných částic zhruba 200 °C. Zobrazení tohoto systému je na **obrázku 13**. [1]



Obr. 13 Systém se vstříkem nafty do výfukového potrubí [20]

**Legenda k obr. 13:**

1) Vstříkovací tryska, 3,4) Sensory teploty, 4) Senzor protitlaku ve výfuku

### 2.2.3 RECIRKULACE VÝFUKOVÝCH PLYNŮ (EGR)

Jedním ze způsobů snížení množství  $\text{NO}_x$  ve výfukových plynech je snížení spalovací teploty ve válci, v důsledku čehož reakce mezi  $\text{O}_2$  a  $\text{N}_2$  neproběhnou, nebo alespoň probíhají v menší míře. Toho lze dosáhnout recirkulací výfukových plynů, označovanou také jako EGR z anglického Exhaust Gas Recirculation. V praxi se jedná o vrácení části výfukových plynů zpět do válce, čímž se zvýší obsah inertních plynů (jako je  $\text{CO}_2$ , vodní pára a  $\text{N}_2$ ) ve směsi, což rozředí celkovou směs, a tím sníží špičkové spalovací teploty během spalování. Hlavním efektem EGR je snížení spalovací teploty ve válci, protože recirkulované výfukové plyny se nepodílejí na spalování, ale naopak absorbují část tepla vzniklého při spalování. Množství  $\text{NO}_x$  tvořených při spalování je exponenciální funkcí spalovací teploty, takže i malé snížení spalovací teploty výrazně sníží produkci  $\text{NO}_x$ . Odhaduje se, že snížení spalovací teploty o 16 % sníží množství  $\text{NO}_x$  ve výfukových plynech o 85 %. [2]

Jak bylo popsáno výše, při recirkulaci výfukových plynů se u vznětových motorů část spalin přivádí do sacího traktu. Až do určitého stupně se může stoupající podíl spalin projevovat pozitivně na převodu energie a tím snižovat emise škodlivých látek. V nízkých zatíženích může nasávaná směs vzduchu a plynů sestávat až ze 40 % výfukových plynů. [12]

U traktorových motorů se používají dvě konstrukční uspořádání EGR, a sice vnější a vnitřní. **Vnitřní EGR** je založena na úpravě časování ventilů při okamžiku výfuku. Během výfuku



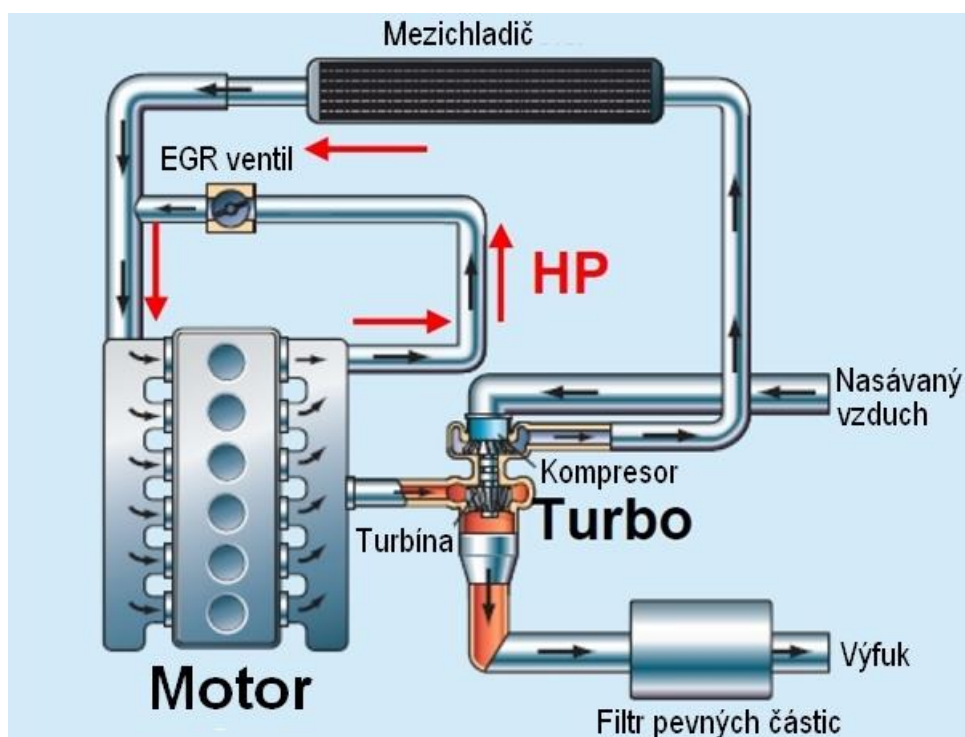
dochází na okamžik k pootevření sacího ventilu a částečnému úniku spalin do sacího prostoru. U čtyřválcových motorů dochází k pootevření sacího ventilu během výfuku, zatímco u šestiválcových motorů se otevírá na okamžik výfukový ventil během sání motoru. Tento způsob řešení není finančně náročný a nezvyšuje nároky na zástavbový prostor. Nevýhodou je stále nastavení bez možnosti regulace množství výfukových plynů. Při použití **vnější** EGR dochází k odvádění spalin přes tzv. EGR ventil do sání motoru. U tohoto uspořádání EGR existují modifikace v možnosti chlazení odměřeného množství spalin [13]:

- EGR bez ochlazování - výfukové plyny neprocházejí přes výměník tepla a tím zvyšují teplotu nasávaného vzduchu, vstříknuté palivo se rychleji odpařuje

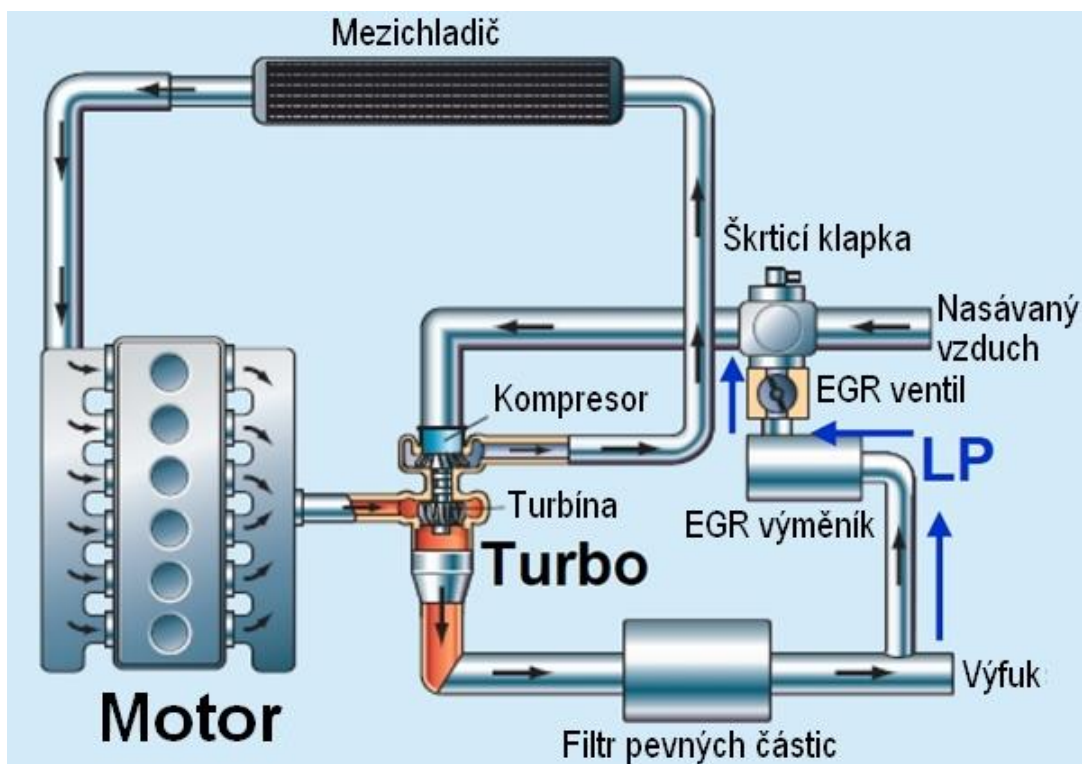
- EGR plným ochlazením - výfukové plyny procházejí přes výměník tepla, přitom může docházet ke kondenzaci vody a její dopravě do spalovacího prostoru

- EGR s částečným ochlazením - pouze část výfukových plynů prochází přes výměník, aby se zabránilo vnikání vody do spalovacího prostoru tím, že se bude udržovat teplota vráceného množství plynů nad teplotou varu

System EGR lze rozdělit i dle místa odběru výfukových plynů a místa jejich přimíchávání k plnicímu vzduchu, a to na nízkotlaké (označované jako LP z anglického Low Pressure) a vysokotlaké (označované jako HP z anglického High Pressure). U **vysokotlaké** recirkulace výfukových plynů (schéma na **obrázku 14**), jak název napovídá, se odebírají výfukové plyny o vysokém tlaku, tedy před turbodmychadlem, a k plnicímu vzduchu se přimíchávají za mezichladičem stlačeného vzduchu. Naopak u **nízkotlaké** EGR (schéma na **obrázku 15**) mají odebírané plyny tlak nižší, protože se odebírají až po jejich průchodu přes turbodmychadlo a filtr pevných částic, a do plnicího vzduchu se přidávají ještě před vstupem do kompresoru turbodmychadla.



Obr. 14 Schéma vysokotlaké recirkulace výfukových plynů [14]



Obr. 15 Schéma nízkotlaké recirkulace výfukových plynů [14]

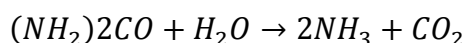


Nevýhodami vysokotlaké EGR je vysoká teplota výfukových plynů, která přesahuje 200°C, a samozřejmě i jejich vysoký tlak. Proto je k rozvodu výfukových plynů nutno použít kovových trubek. Naproti tomu u nízkotlaké EGR mají plyny nízký tlak i teplotu (pod 150°), takže lze použít plastových trubek a gumových hadic a těsnění. [14]

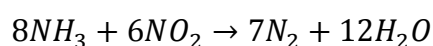
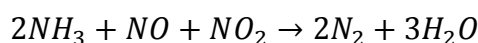
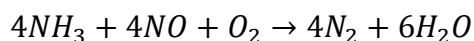
Jelikož u vysokotlaké EGR odebírané plyny neprochází přes filtr pevných částic, mohou se pevné částice z výfukových plynů usazovat na stěnách sacího potrubí, a snižovat tak jeho průchodnost. Přesné uspořádání HP i LP EGR se však od uspořádání na obrázcích 14 a 15 mohou lišit podle modifikace zvolené konstruktéry daného motoru.

#### 2.2.4 SELEKTIVNÍ KATALYTICKÁ REDUKCE (SCR)

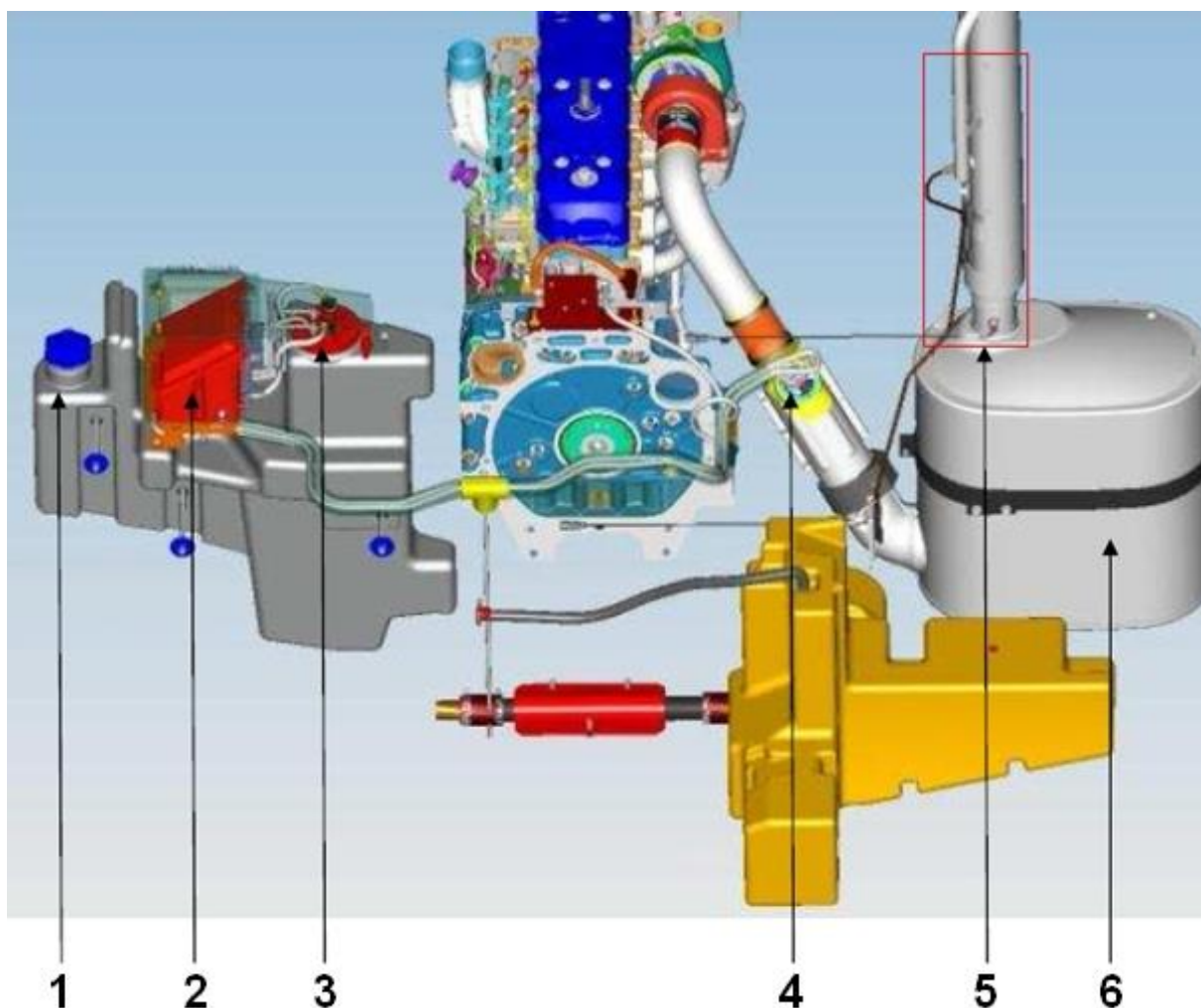
Selektivní katalytická redukce, označovaná zkratkou SCR z anglického Selective Catalytic Reduction, je další z technologií umožňujících snížit emise výfukových plynů vznětových motorů na úroveň norem Euro 4 a 5, respektive Stage IV. Technologie předpokládá motor s nižší produkcí pevných částic, přičemž při tomto protichůdném procesu je zvýšený obsah NO<sub>x</sub> redukován následným ošetřením výfukových plynů metodou SCR pod limit předpisů. Snížení obsahu NO<sub>x</sub> se dosahuje vstříkáváním kapaliny s obchodním názvem AdBlue, což je vodný roztok syntetické močoviny, do výfukového potrubí. Zde se AdBlue rozkládá na amoniak NH<sub>3</sub> a oxid uhličitý CO<sub>2</sub>. [9]



Amoniak je účinnou, a tedy hlavní složkou procesu, jelikož jeho působením za dostatečné teploty v SCR katalyzátoru se NO<sub>x</sub> přeměňují na H<sub>2</sub>O a N<sub>2</sub>: [10]



Nevýhodou tohoto systému je snížení zástavbového prostoru motoru v důsledku umístění nádržky s AdBlue. Další problém spočívá v tom, že AdBlue je, jak již bylo zmíněno, vodný roztok, a hrozí tedy jeho zamrznutí a následná destrukce nejen nádržky, ale i rozvodu této kapaliny. Je proto nutné tento problém odstranit vyhříváním nádržky i rozvodů od ní vedoucích. Jistou nevýhodou je také nutnost doplňování AdBlue, jehož cena sice náklady na provoz nijak závratně nezvyšuje, problém však znamená nutnost jezdit pro AdBlue. Základní části systému SCR jsou zobrazeny na **obrázku 16**.



Obr. 16 Základní části systému SCR [11]

**Legenda k obr. 2:**

- 1) Plnicí hrdlo, 2) Řídící jednotka a dopravní čerpadlo, 3) Vyhřívací těleso a ukazatel stavu AdBlue,
- 4) Vstřikovací jednotka, 5) Snímače teploty a koncentrace NO<sub>x</sub>, 6) SCR katalyzátor

### 2.2.5 ANTI SLIP CATALYST (ASC)

Procesy probíhající v systému SCR vyžadují přesné odměřování množství vstříknutého AdBlue, neboť nedostatečné množství způsobuje nedostatečnou konverzi NO<sub>x</sub> na N<sub>2</sub>. Ideální poměr amoniaku a NO<sub>x</sub>, ve kterém by tyto látky v SCR katalyzátoru měly být, aby bylo zaručeno, že bude dostatek amoniaku pro reakci veškerých NO<sub>x</sub> z výfukových plynů, je 1:1. Nicméně účinnost SCR systému může být nízká při nižších teplotách, kdy aktivita SCR systému může klesat, nebo naopak při vysokých teplotách a velkém průtoku výfukových plynů. Je-li vstřikováno příliš mnoho Adblue, dochází k nežádoucímu **úniku čpavku** do atmosféry, což lze označit za volný překlad výrazu ammonia slip používaného v anglicky psané literatuře. Čpavek, který pronikne za SCR katalyzátor, pak může oxidovat na NO<sub>x</sub>, a z malé části na N<sub>2</sub>, nebo také uniknout do atmosféry. Jelikož amoniak nelze považovat za zdraví prospěšnou látku, je nutno snížit jeho množství ve výfukových plynech co nejvíce. Katalyzátor ASC (z anglického Ammonia Slip Catalyst, které lze volně přeložit jako katalyzátor proti úniku čpavku) může v závislosti na provozních podmínkách převádět více než 90 % čpavku z výfukových plynů na dusík. [28, 29]



### 2.2.6 ZÁSOBNÍKOVÝ KATALYZÁTOR NO<sub>x</sub>

Zásobníkový katalyzátor NO<sub>x</sub> (v anglicky psané literatuře označovaný jako NO<sub>x</sub> Trap) funguje tak, že zachycuje a uchovává NO<sub>x</sub> (cca po dobu 10 min nebo 10 km), které následně uvolňuje po dobu cca pěti vteřin, během kterých řidič nic nepozná. Během fáze zachycování se oxidy dusíku, obsažené ve výfukových plynech, zachycují na porézním nosiči, na kterém jsou nanášeny vzácné kovy - platina, baryum a rhodium. Platina transformuje oxid dusnatý (NO) na oxid dusičitý (NO<sub>2</sub>). Baryum, které oxiduje na oxid barnatý (BO), zachycuje a uchovává NO<sub>2</sub> jako součást vodného roztoku Ba(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. Ve fázi regenerace se zásobníkový katalyzátor vyčistí od zachycených oxidů dusíku, a to při provozu motoru v režimu bohatší směsi. Oxidy dusíku jsou tímto převedeny na neutrální plyny, zejména dusík N<sub>2</sub>, které lze vypustit do ovzduší. Tímto způsobem je zásobníkový katalyzátor regenerován a může opět pokračovat v zachycování NO<sub>x</sub>. Pro zajištění správné funkce zásobníkového katalyzátoru je nutno jej vybavit senzory tepla a lambda sondou umístěnými na vstupu do něj a výstupu z něj. Data zachycovaná těmito senzory jsou kontrolována řídicí jednotkou, která určí, kdy bude zásobníkový katalyzátor regenerován, a také jaké bude složení směsi při regeneraci. [8]



### 3 SEZNÁMENÍ S PROBLEMATIKOU

Jak bylo popsáno výše, emisní limity pro motorová vozidla, a tedy i pro kategorii nesilničních vozidel, kam spadají traktory, se stále zpřísňují. Výrobci se proto neustále musí snažit snižovat množství škodlivých látek emitovaných motory. Jednou z možností, kterými se konstruktéři společnosti ZETOR TRACTORS a.s. (dále jen Zetor) rozhodli snížit emise svých motorů, je použití vírové klapky popsané v **kapitole 2.1.3**. Vírová klapka se obvykle umísťuje do jednoho ze sacích kanálů pro každý válec, a sice do přímého. Konstruktéři zetoru se však rozhodli pro jiné řešení, a sice vytvoření podélné přepážky v plnicí komoře, a také částečné přepážky v ejektoru. Na ejektoru se také vytvoří nálietek, jímž bude procházet hřídelka, kterou bude ovládána vírová klapka. Vírová klapka tedy bude uzavírat polovinu ejektoru, a tím celou polovinu plnicí komory, čímž dojde k plnění válce motoru jedním sacím kanálem. Aktuálně používaný nedělený ejektor je zobrazen na **obrázku 17**. Ejektor je součástí, do které jsou přiváděny výfukové plyny ze systému EGR, a je připevněn k plnicí komoře, v níž se plnicí vzduch rozděluje mezi jednotlivé sací kanály. Aktuálně používaná plnicí komora je zobrazena na **obrázku 19**.



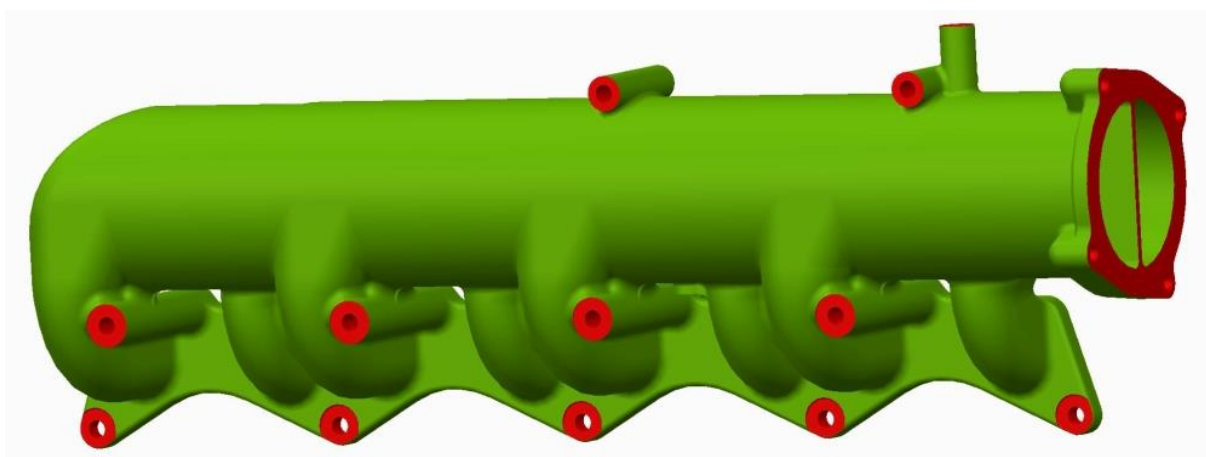
*Obr. 17 Nedělený ejektor*



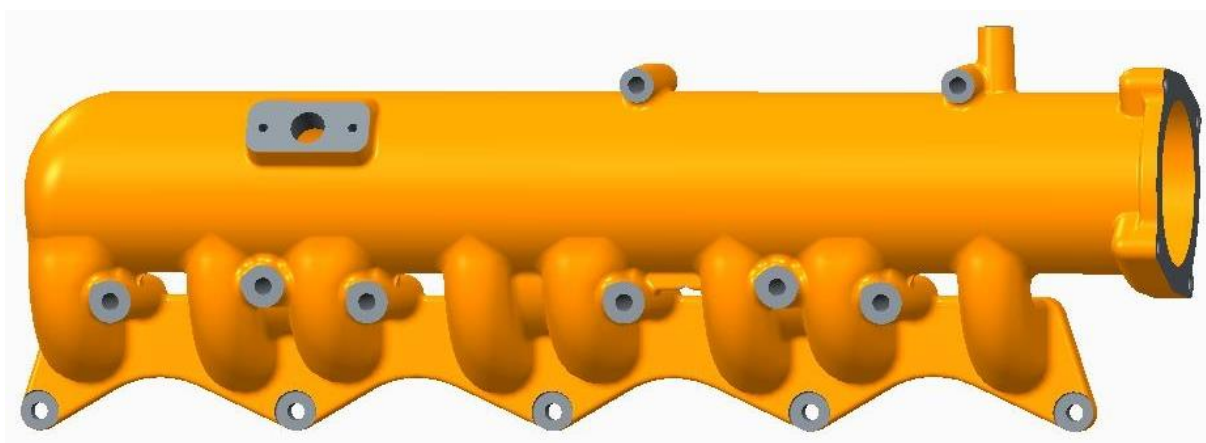
## 4 PRVOTNÍ KONSTRUKČNÍ NÁVRH

Na začátku zpracovávání diplomové práce mi byly vedoucím práce poskytnuty podklady vytvořené konstruktéry Zetoru, a to modely dělené komory a děleného ejektoru. Tyto modely byly nahrubo vymodelované v jednom souboru, a bylo potřeba je přemodelovat tak, aby byly ve formě používané v Zetoru, tj. vymodelovat pět souborů, z nichž každý by měl na konci názvu přídavek REF, JAD, PLA, případně ODL, a soubor obsahující finální model výrobku byl bez přídávku. Pro inspiraci postupu modelování mi byly poskytnuty také modely nedělené komory sání a ejektoru.

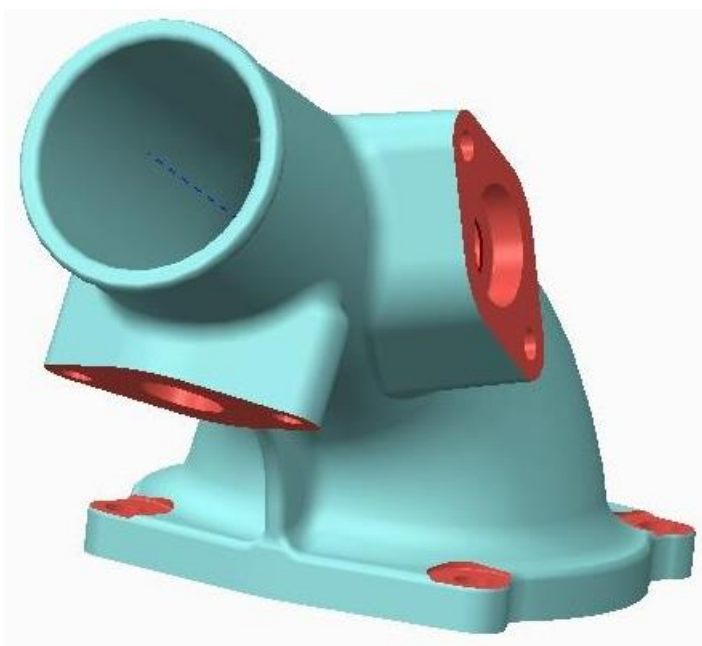
Na **obrázku 18** je zobrazen dodaný model dělené komory sání, na **obrázku 19** je dodaný soubor nedělené komory sání, který sloužil pro inspiraci postupu. Na **obrázku 20** je dodaný model děleného ejektoru.



*Obr. 18 Dodaný model dělené komory sání*

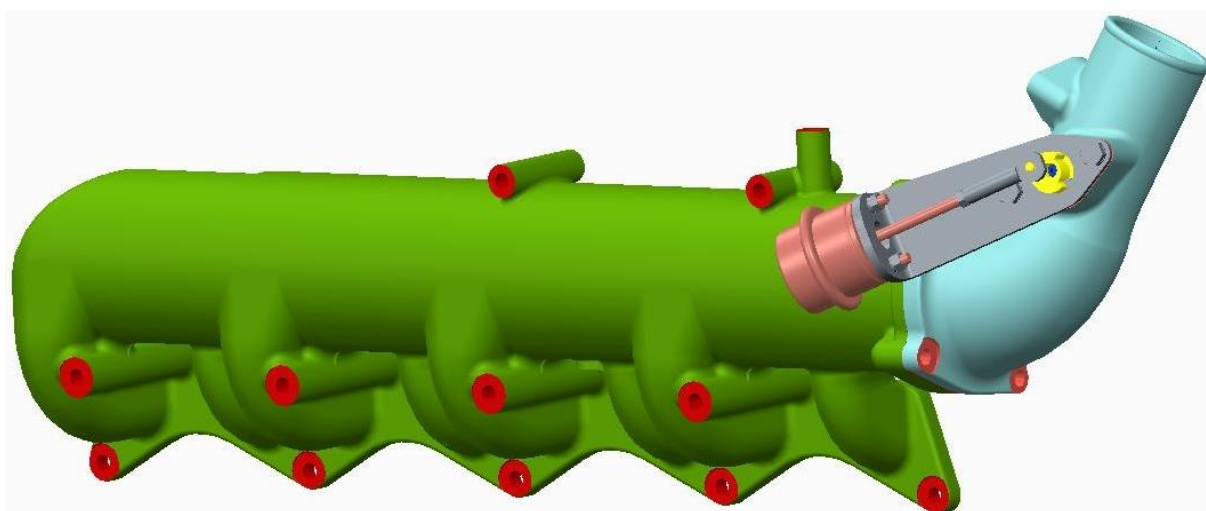


*Obr. 19 Model používané nedělené komory sání dodaný pro inspiraci*



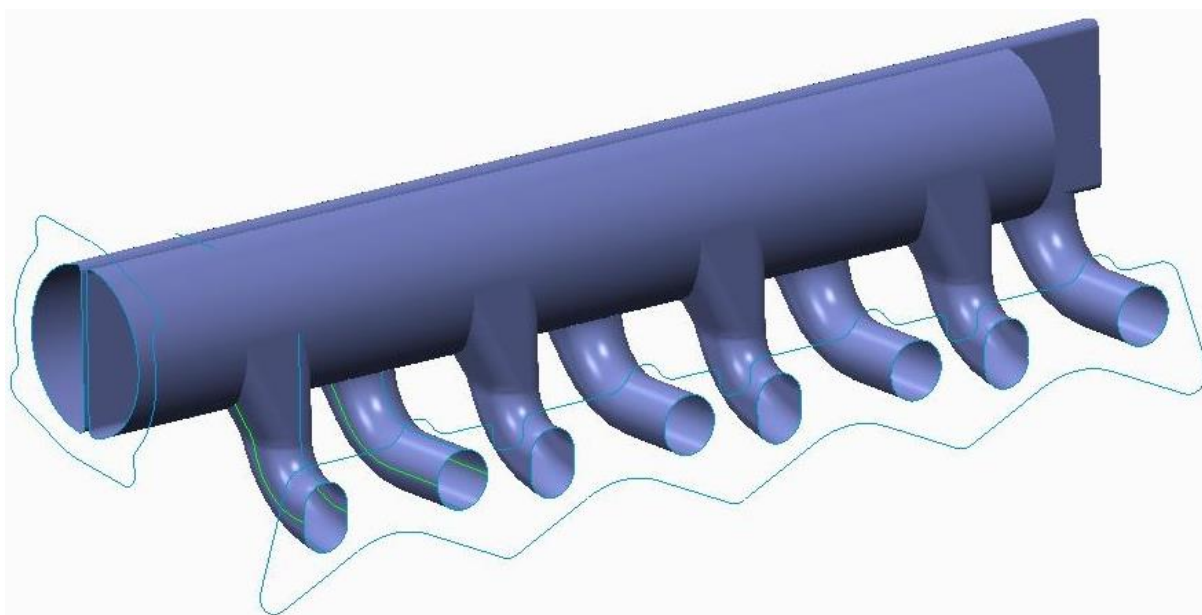
Obr. 20 Dodaný model děleného ejektoru

Jak by měla vypadat sestava dělené komory, děleného ejektoru a mechanismu ovládajícího vírovou klapku, je zobrazeno na **obrázku 21**.



Obr. 21 Dodaný model sestavy sání s proměnným průřezem

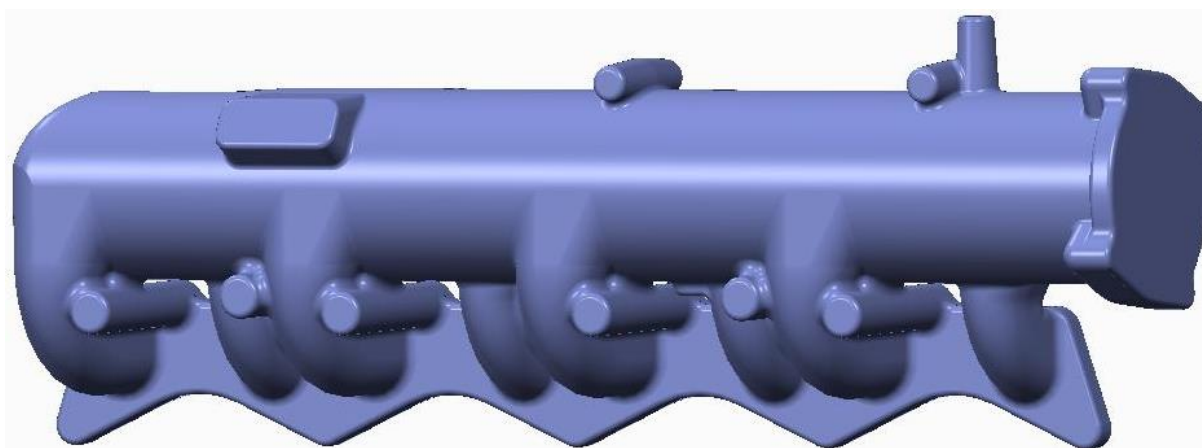
Nyní k samotnému postupu práce. Nejprve byl vytvořen soubor REF, v němž byly vytvořeny roviny, osy a body nutné pro vymodelování křivek, kterými je určeno umístění přírub, a také základní kontury dutin součástí. Tento model je zobrazen na **obrázku 22**.



Obr. 22 Původní verze modelu REF dělené komory

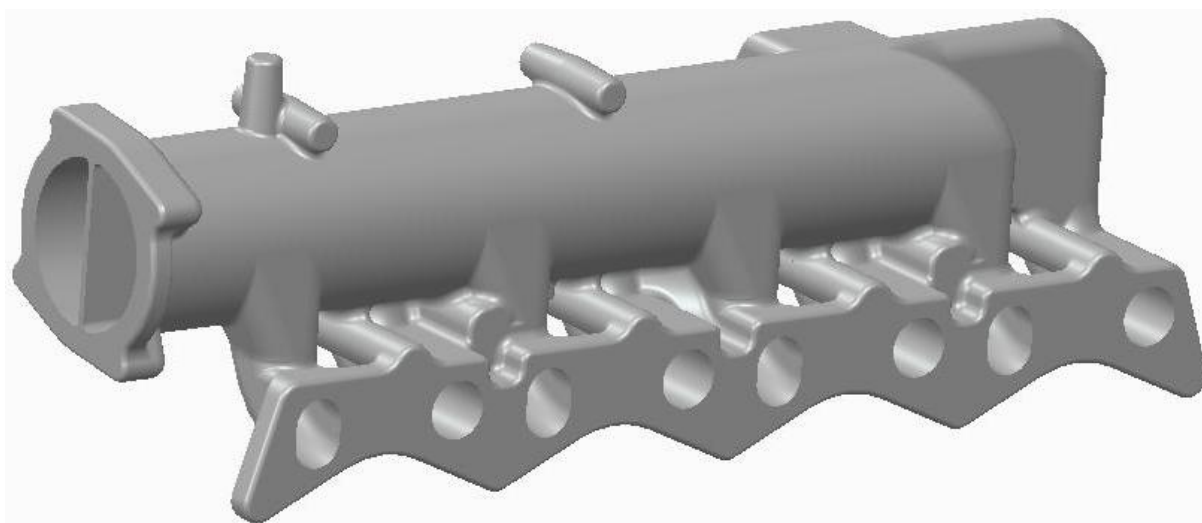
Na tento soubor navazoval soubor JAD, v němž byla vymodelována jádra odlitků. Jeho model je zobrazen na **obrázku 32** v kapitole 5.1.1.

V souboru s přídatkem PLA, který také navazoval na soubor REF, byl vytvořen plášť modelu odlitku, který obsahoval mimo jiné náliček pro snímač tlaku a teploty, náliček pro snímač přetlaku pro antikorektor vstřikovacího čerpadla, a také dva náličky pro uchycení zásobníku paliva systému Common Rail. Model tohoto souboru je zobrazen na **obrázku 23**.



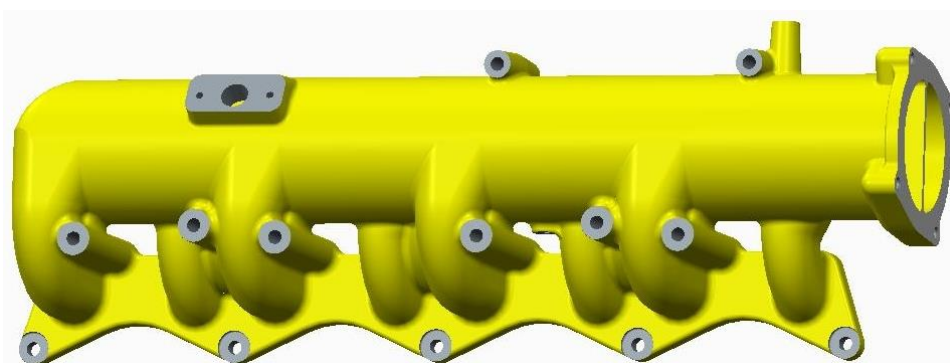
Obr. 23 Původní verze modelu PLA dělené komory

V souboru s označením ODL, jehož model je zobrazen na **obrázku 24**, proběhlo odečtení modelu jádra od modelu pláště. Jelikož všechny předchozí soubory byly vymodelovány jako plochy, ale finální soubor měl obsahovat objemový model, byl soubor ODL převeden na objemový. Tímto vzniknul model odlitku tak, jak jej v ideálním případě získáme po odlití ve slévárně.

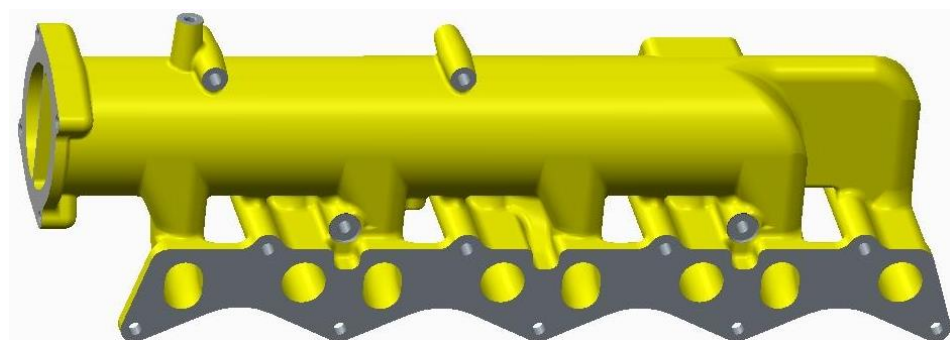


*Obr. 24 Původní verze modelu ODL dělené komory*

Do posledního souboru, již bez přídatku, byl načten soubor ODL, a na něm byly vymodelovány veškeré prvky, které vzniknou třískovým obráběním. Tento model je zobrazen na **obrázcích 25 a 26**. V této podobě byl model zaslán do slévárny.

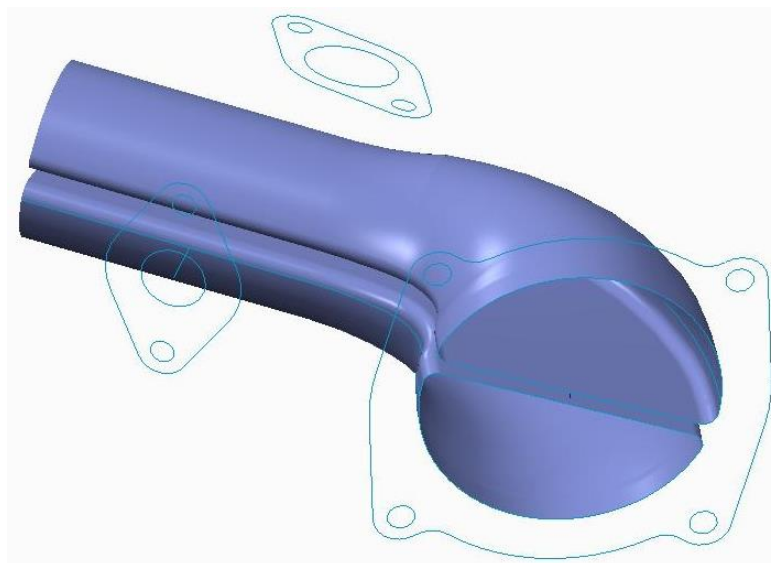


*Obr. 25 První model dělené komory - pohled z levé strany*

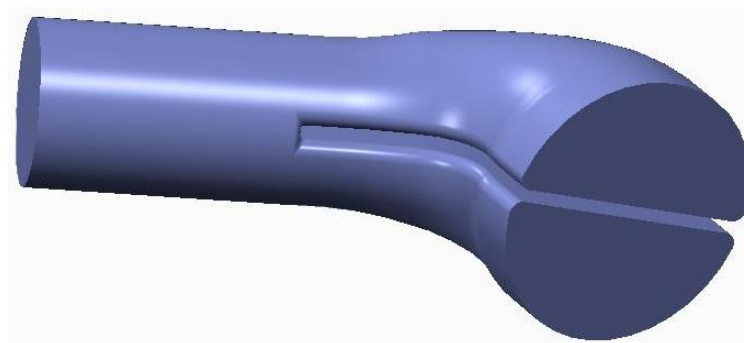


*Obr. 26 První model dělené komory - pohled z pravé strany*

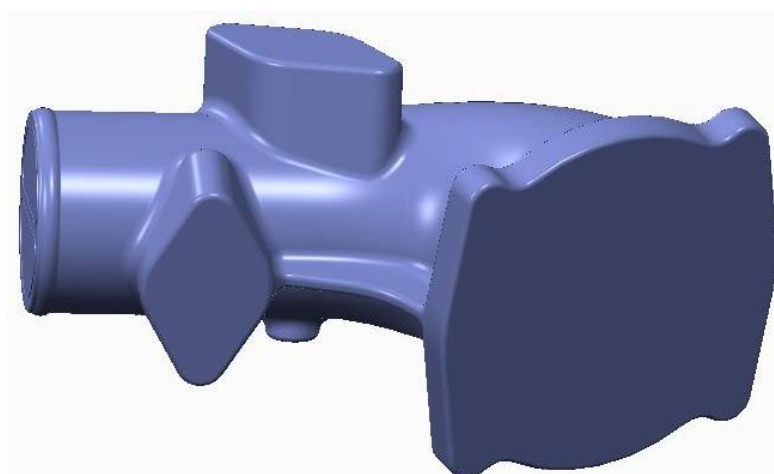
Výše popsany postup byl stejný pro dělenou komoru i pro dělený ejektor. Na **obrázku 27** je zobrazen model REF děleného ejektoru, na **obrázku 28** model JAD, na **obrázku 29** model PLA děleného ejektoru.



*Obr. 27 Původní verze modelu REF děleného ejektoru*

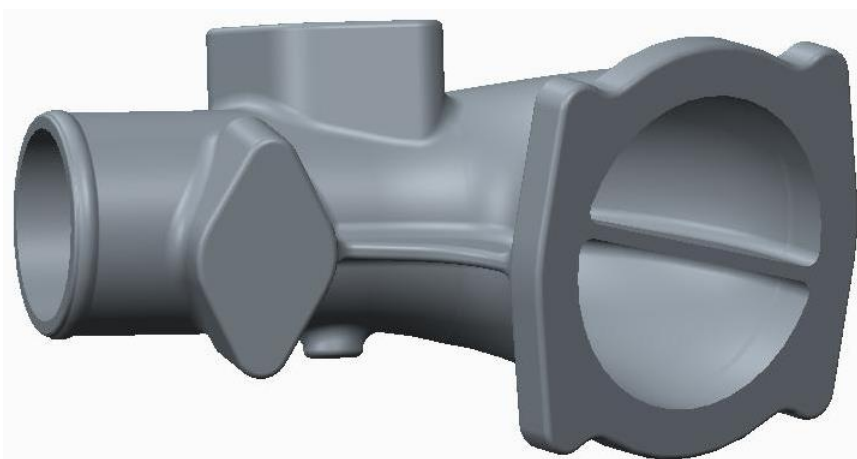


*Obr. 28 Původní verze modelu JAD děleného ejektoru*



*Obr. 29 Původní verze modelu PLA děleného ejektoru*

Na **obrázku 30** je zobrazen model ODL děleného ejektoru.



*Obr. 30 Původní verze modelu ODL děleného ejektoru*



*Obr. 31 Model první verze děleného ejektoru*

Na **obrázku 31** je model obrobku děleného ejektoru, který byl spolu s modelem obrobku dělené komory zaslán do slévárny k posouzení vyrobiteľnosti. Spolu s nimi byly zaslány do slévárny i modely jader, plášťů, a výrobní výkresy obou součástí.



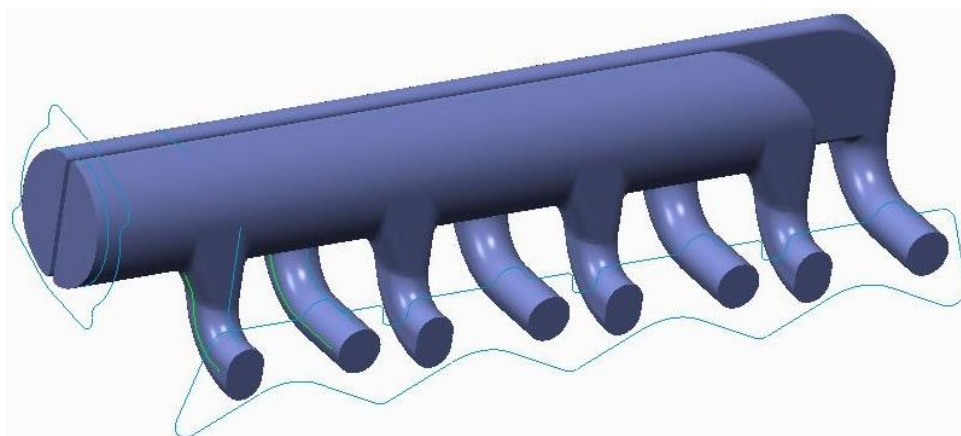
## 5 KONSTRUKČNÍ ÚPRAVY PO KONZULTACI VE SLÉVÁRNĚ

Poté, co technologové ze slévárny zkontrolovali zaslané soubory, proběhla osobní konzultace ve slévárně, při které bylo zjištěno, že s ohledem na vyrobiteľnost je potřeba provést mnoho změn na obou součástech. Jednalo se zejména o změnu tloušťky stěn, která měla činit minimálně 5 mm, přičemž v původních modelech byla tloušťka stěn 4 mm. Také bylo nutno přidat technologické úkosy, aby bylo možné modely výrobků vyjmout z forem, a také aby bylo možné jádra vyjmout z jaderníků. Úpravy provedené po konzultaci jsou popsány zvlášť pro dělenou komoru a dělený ejektor.

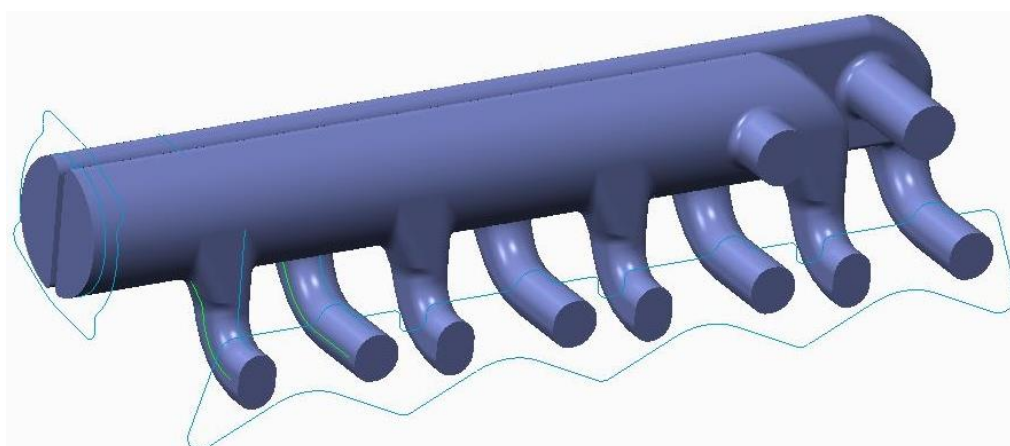
### 5.1 DĚLENÁ KOMORA

#### 5.1.1 JÁDRA

U jader dělené komory bylo nutné provést pouze dvě změny. První změna spočívala v přidání známek na jádra, neboť, jak je vidět na **obrázku 32**, by jádra ve formě nebyla dostatečně stabilně umístěna. Jádra s přidávanými známkami jsou zobrazena na **obrázku 33**.

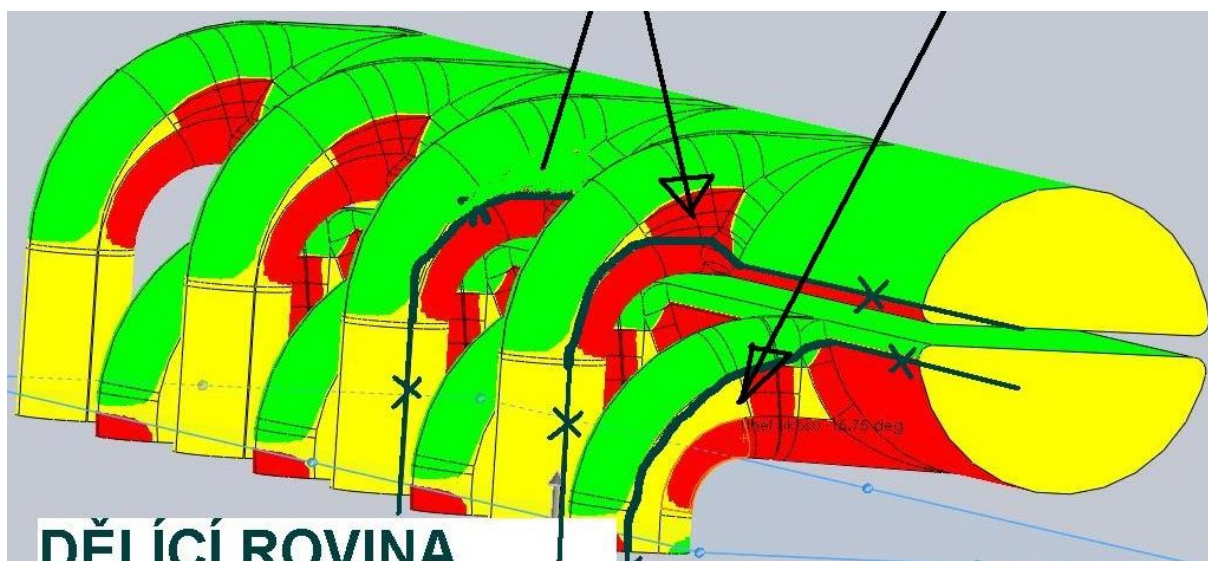


Obr. 32 Jádra původního návrhu dělené komory

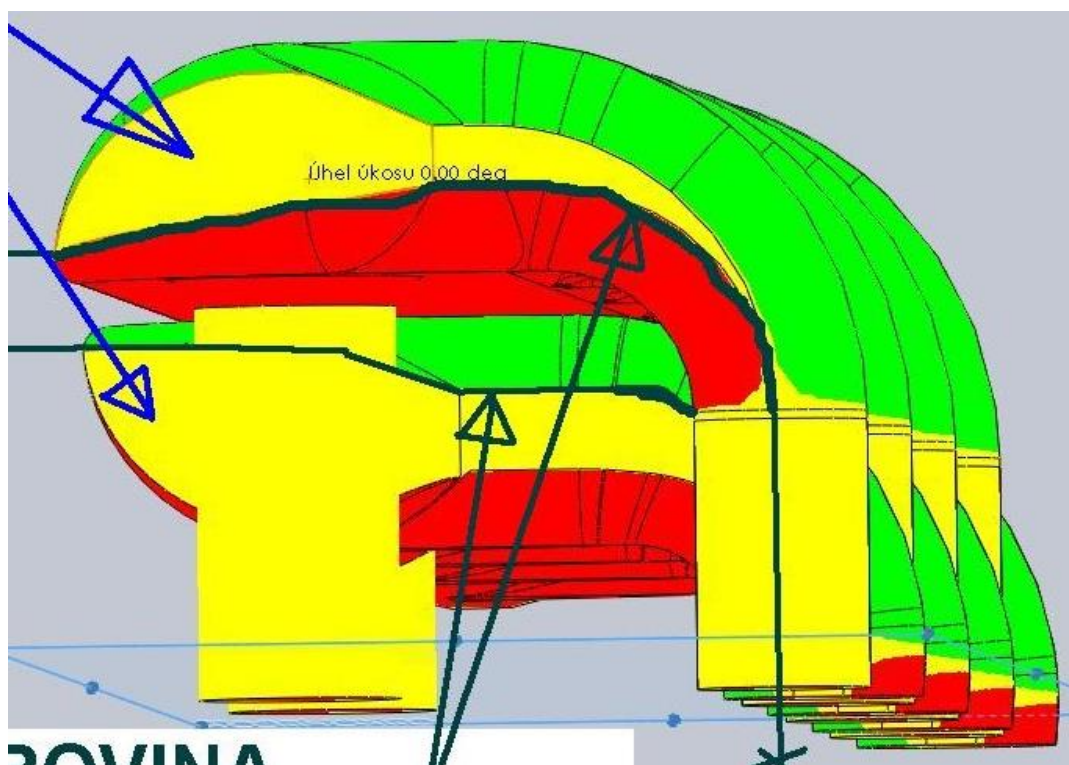


Obr. 33 Jádra finálního návrhu dělené komory

Druhá změna spočívala v přidání technologických úkosů na jádra. Na **obrázcích 34** a **35** je naznačeno, jak by asi měla vypadat dělicí rovina procházející jádry, a to tmavě zelenou barvou. Červenou barvou jsou zobrazeny pozitivní úkosy, zelenou barvou úkosy negativní. Žlutá barva zobrazuje plochy, které měly úkos menší než technologie požadované 3°.



Obr. 34 Předpokládaný průběh dělicí roviny jader dělené komory - pohled zepředu [26]



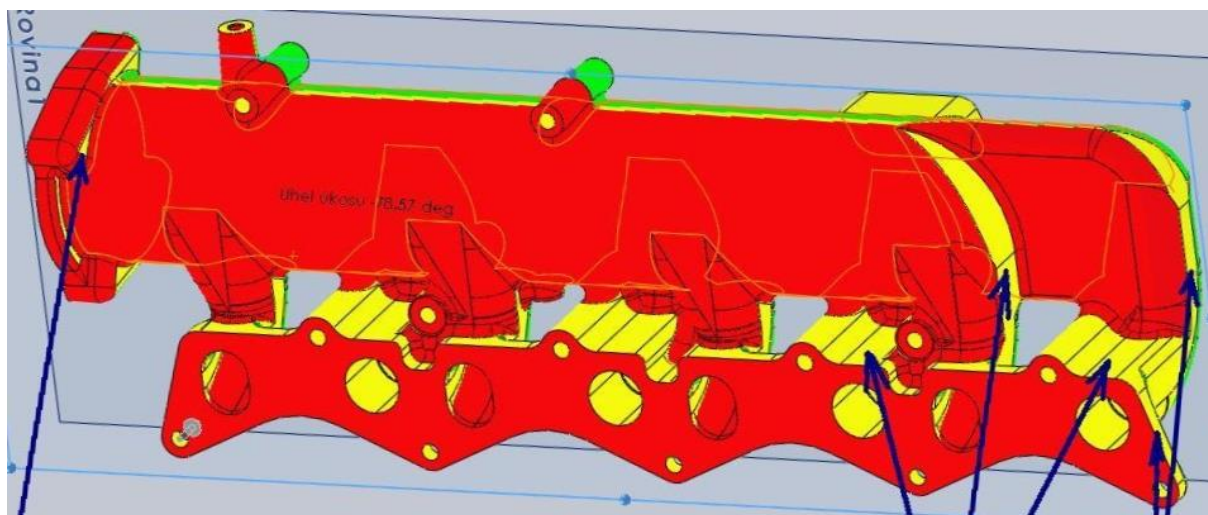
Obr. 35 Předpokládaný průběh dělicí roviny jader dělené komory - pohled zezadu [26]

### 5.1.2 PLÁŠŤ

U pláště bylo nutno řešit problém, který nastal se změnou tloušťky stěn. Jelikož soubor REF nebyl vhodně vymodelován, bylo nutné udělat jisté změny, zejména u kanálů vedoucích z uzavírané poloviny komory. V důsledku změny souboru REF bylo potřeba udělat určité změny i v souboru JAD, zejména změnit rádie, celkem se však jednalo o menší změny. Největší změnou, a také nejsložitější, však byla nutnost dodělat technologické úkosy

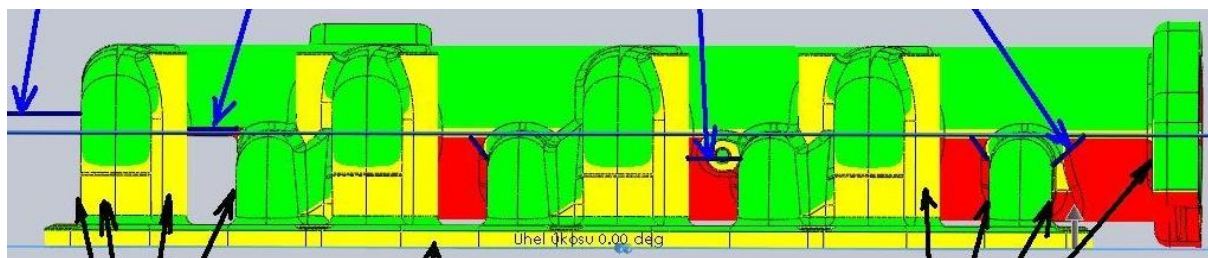


v souboru PLA. Na **obrázku 36** je zobrazen původní model dělené komory s označenými požadovanými úkosy. Barevné rozložení na obrázku je podobné jako rozložení barev na obrázcích 34 a 35. Technology požadované úkosy byly opět  $3^\circ$ , což bylo na většině žlutých ploch nutno opravit.



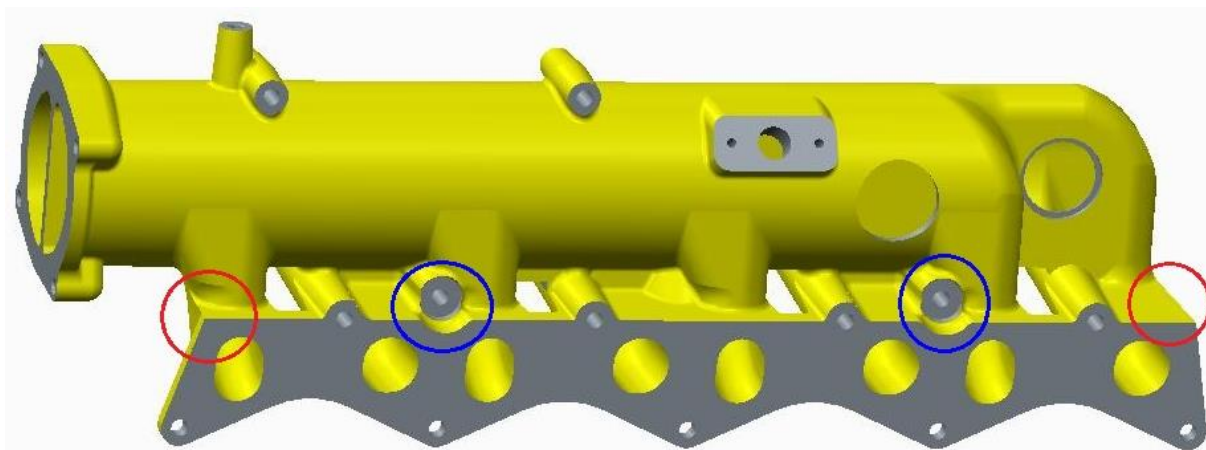
Obr. 36 Úkosová analýza první verze dělené komory - izometrický pohled [26]

Protože dělicí rovina pro dělenou komoru navrhovaná technologem slévárny byla poměrně složitá (což je částečně naznačeno modrými úsečkami na **obrázku 37**), a jelikož v systému Creo zřejmě nelze provést úkosovou analýzu pro takto členitou dělicí rovinu, byly úpravy zdlouhavé v tom, že po provedení změn bylo nutné několikrát poslat opravené modely do slévárny, a dle technology navrhovaných úprav soubory opravovat.



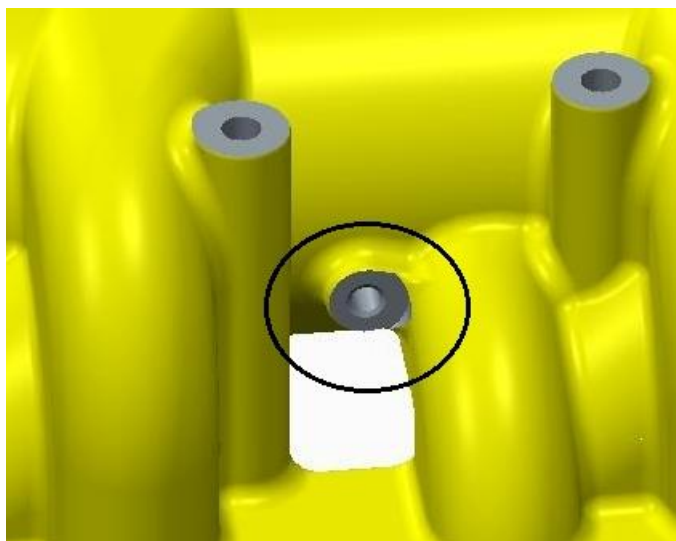
Obr. 37 Dělicí rovina první verze dělené komory - pohled zespodu [26]

Také bylo nutno upravit nálitek pro připojení k hlavě válce, zejména aby nebyl v horních rozích zaoblen, což je zřejmé z **obrázku 38** (v červených kroužcích) ve srovnání s **obrázkem 26**. Na obrázku 38 je také vidět, že bylo nutné zmenšit i vybrání u přírub sloužících k připevnění zásobníku paliva systému Common-Rail (v modrých kroužcích). Na tomto obrázku je vidět i to, že bylo nutno přesunout nálitek pro snímač teploty a tlaku, protože v první fázi návrhu jsem si neuvědomil, že na uzavírané části plnicí komory by neplnil svou funkci ve všech režimech provozu motoru.

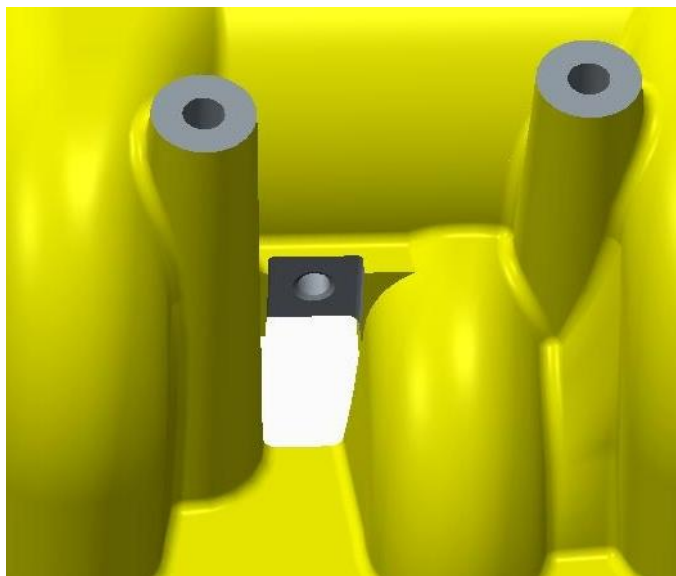


Obr. 38 Finální model dělené komory - pohled z pravé strany

Také bylo nutno upravit nálipek pro snímač přetlaku pro antikorektor vstřikovacího čerpadla, jehož původní verze je v kroužku na **obrázku 39**. Upravený nálipek je na **obrázku 40**.

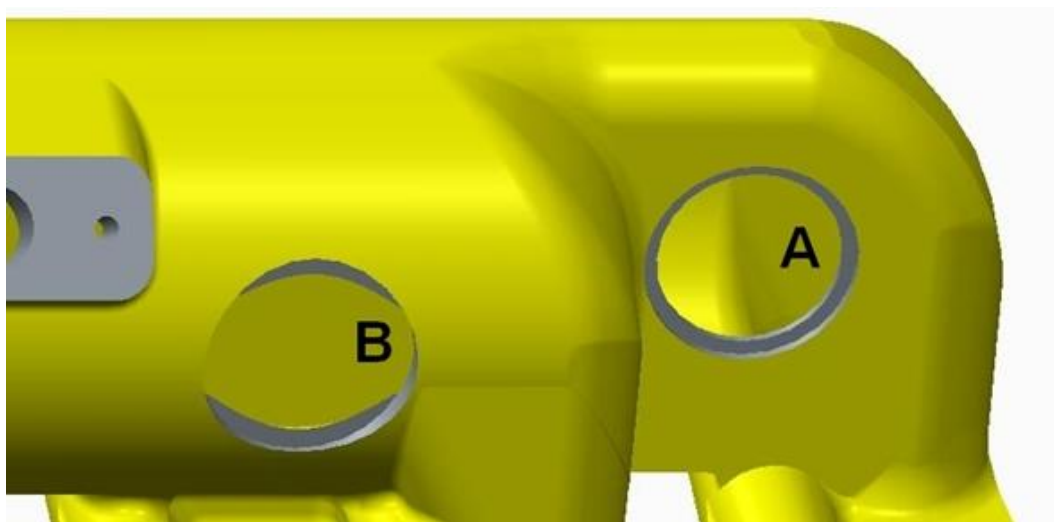


Obr. 39 Původní nálipek pro snímač přetlaku pro antikorektor vstřikovacího čerpadla



*Obr. 40 Upravený nálipek pro snímač přetlaku pro antikorektor vstříkovacího čerpadla*

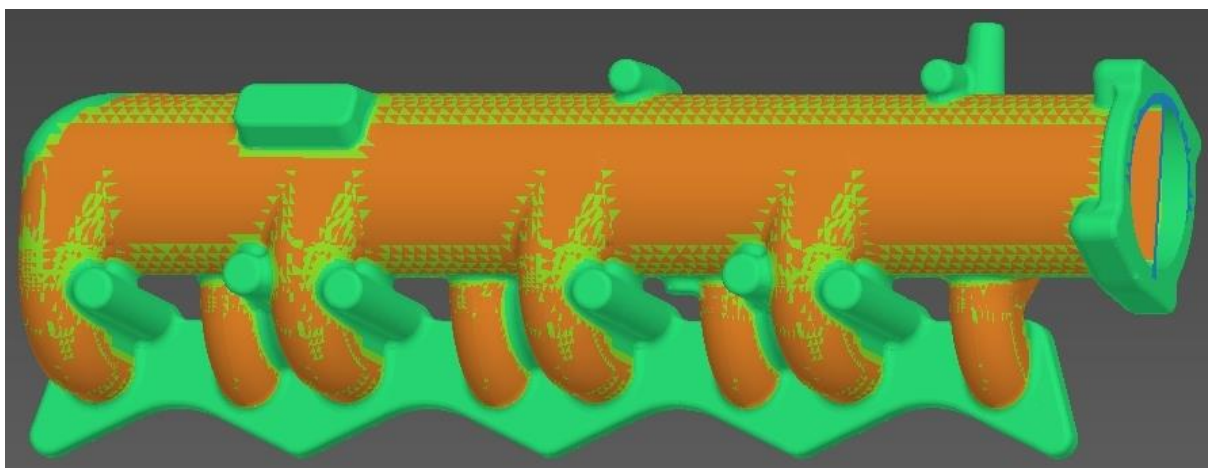
V důsledku přidání známek jader (**kapitola 5.1.1**) vznikly na odlitku další 2 otvory. Tyto otvory bude nutno obrobit a poté zaslepit zátkami. Na **obrázku 41** je detail návrhu obrobení otvorů. První otvor (na obrázku označen jako **A**) je na části komory, která je plochá, navrhnul jsem jej tedy obrobit jako díru pro zátku podle normy ČSN 30 1399. Druhý otvor (označen jako **B**) se nachází na válcové části komory. Výše zmíněné normy však pro tento případ nešlo použít, navrhnul jsem tedy obrobit v těchto místech součást tak, jak je to zobrazeno na výkresu uvedeném v **příloze 2**.



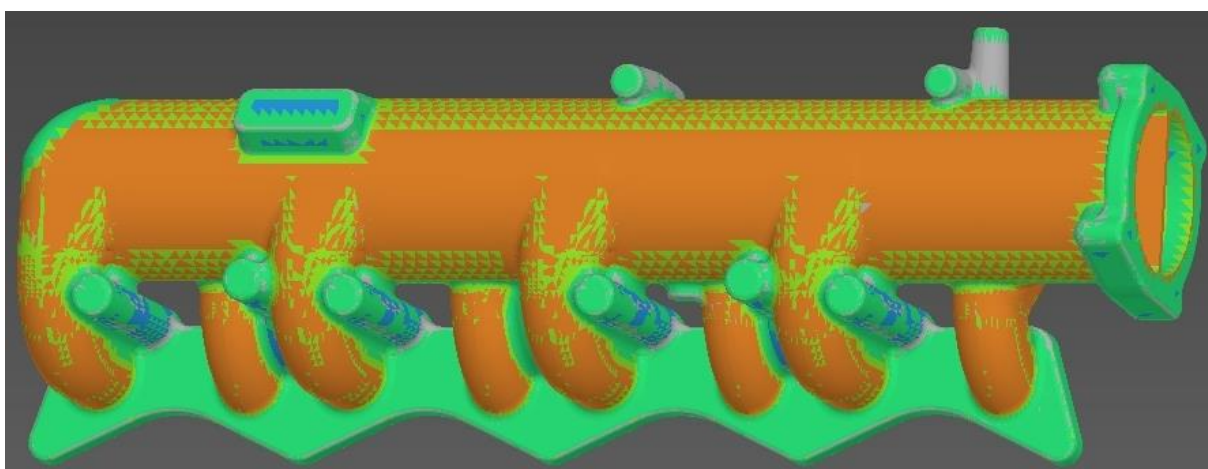
*Obr. 41 Detailní pohled na navržené obrobení otvorů po známkách jader*



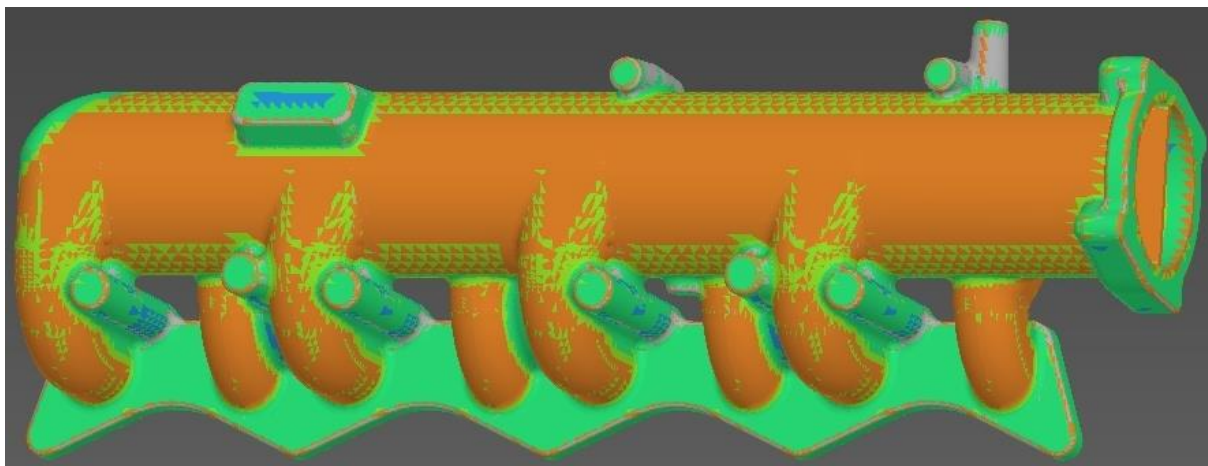
Jak již bylo řečeno výše, bylo nutno zajistit, aby minimální tloušťka stěny odlitku byla 5 mm. Systém Creo neobsahuje funkci pro kontrolu tloušťky stěny součásti, lze jej však o tuto funkci rozšířit pomocí programu GeomCaliper, který rychle změří tloušťky stěn, a to třemi různými metodami. První metoda se nazývá Ray Method, druhá metoda Sphere Method (Contact Distance), třetí nese označení Sphere Method (Diameter). Na **obrázku 42** je model odlitku původního návrhu dělené komory kontrolovaný první metodou, **obrázek 43** zachycuje kontrolu metodou druhou, na **obrázku 44** je kontrola třetí metodou. Oranžová barva na obrázcích označuje části odlitku, které měly stěnu tenčí než 4 mm. Žluto-zelenou barvu mají části odlitku o tloušťce mezi 4 a 5 mm. Barva světle zelená a modrá, případně šedá, označují části odlitku s tloušťkou stěny větší než 5 mm. Jak je vidět, zásadní rozdíl mezi metodami je hlavně na hranách, například na přírubě pro ejektor. Podle metody Ray Method je tloušťka vnitřních hran příruby výrazně větší než 5 mm, podle metody Sphere Method (Contact Distance) je tloušťka těch samých hran mezi 4 a 5 mm, a podle metody Sphere Method (Diameter) je tloušťka těchto hran méně než 4 mm. Z výsledků, které vyplynuly z kontroly tloušťky jednoho odlitku třemi metodami, usuzuji, že nejspolehlivější výsledky poskytuje metoda třetí, proto jsem v dalších kontrolách tloušťky stěn odlitku používal zejména kontrolní metodu s označením Sphere Method (Diameter).



Obr. 42 Kontrola tloušťky stěn odlitku dělené komory metodou Ray Method

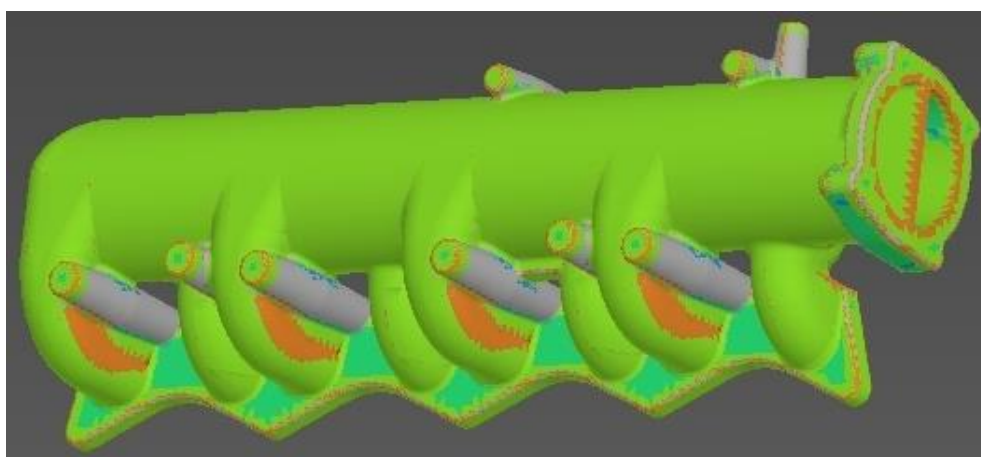


Obr. 43 Kontrola tloušťky stěn odlitku dělené komory metodou Sphere Method (Contact Distance)

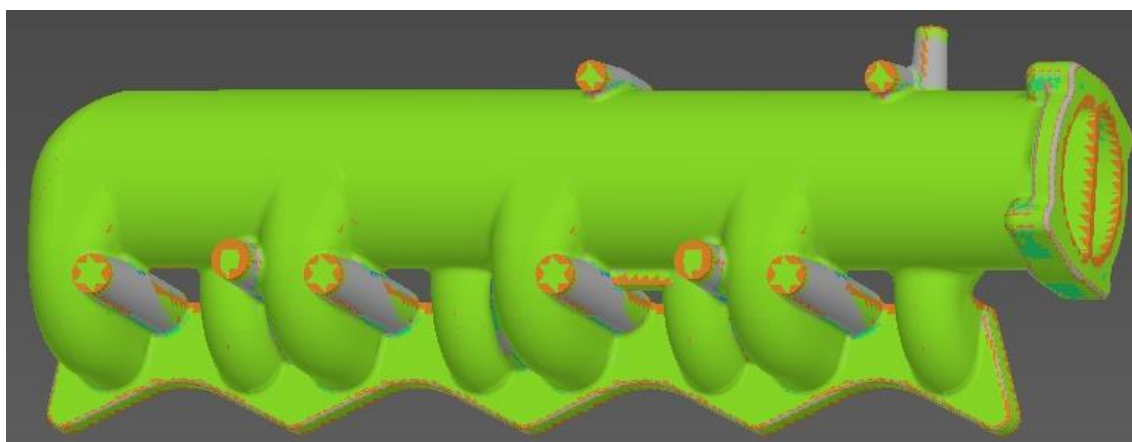


Obr. 44 Kontrola tloušťky stěn odlitku dělené komory metodou Sphere Method (Diameter)

Na **obrázku 45** je model odlitku po úpravách tloušťky stěn, nicméně stěny na 4 kanálech (oranžovou barvou) ještě neměly dostatečnou tloušťku. Tento problém byl později opraven, což dokazuje **obrázek 46**.



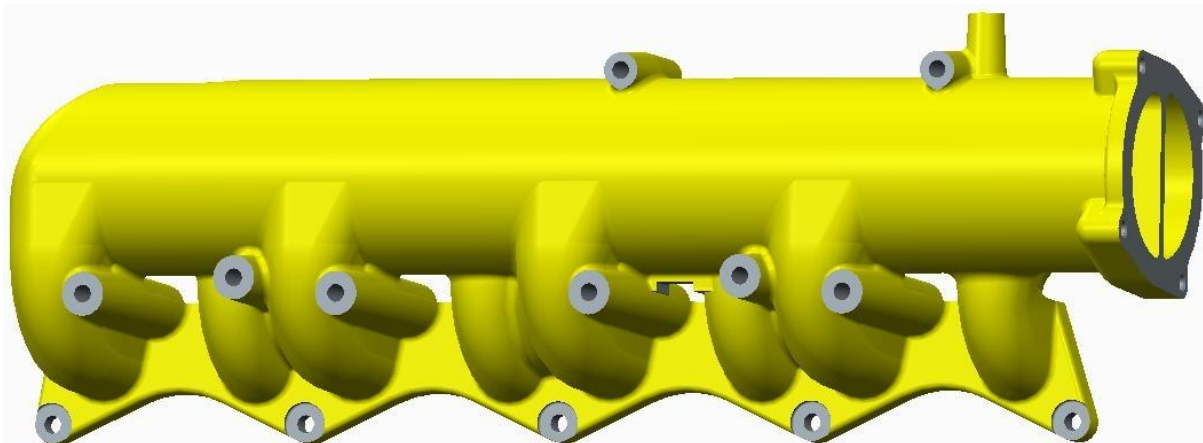
Obr. 45 Kontrola tloušťky stěn upraveného modelu odlitku dělené komory



Obr. 46 Kontrola tloušťky stěn finálního modelu odlitku dělené komory



Finální model dělené komory je na **obrázku 47**.



*Obr. 47 Finální model dělené komory*

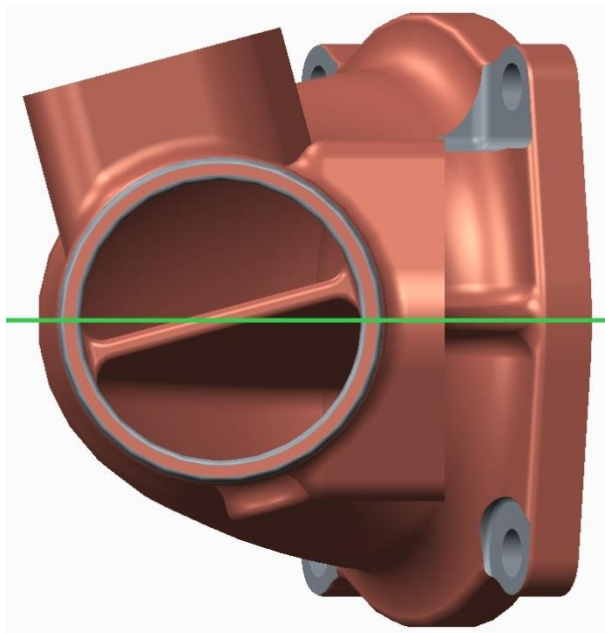
## 5.2 DĚLENÝ EJEKTOR

Problémy u děleného ejektoru byly podobné jako u dělené komory, tedy zejména technologické úkosy a tloušťka stěn odlitku. Jádro děleného ejektoru nebylo nutno nijak upravovat, byly tedy provedeny úpravy pouze na plášti, které jsou popsány níže.

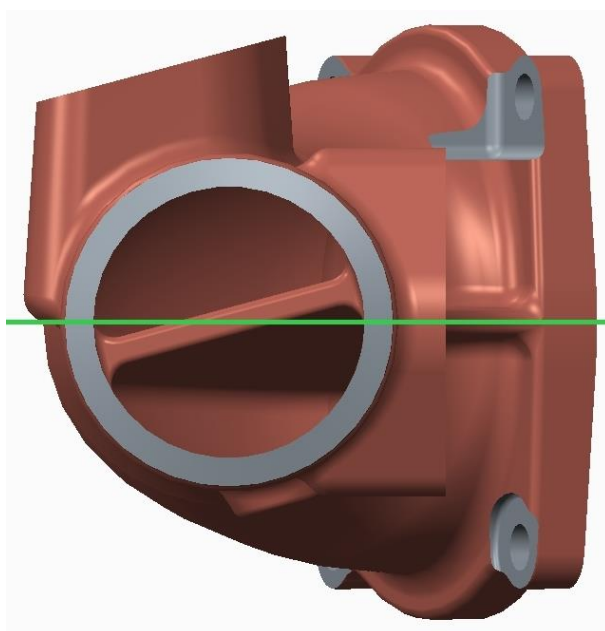
### 5.2.1 PLÁŠŤ

V případě technologických úkosů řešených u pláště děleného ejektoru se jednalo o menší změny, větší změna se týkala pouze nálitku pro hřídelku vírové klapky. Na **obrázku 48** je zobrazena původní verze děleného ejektoru a jeho dělicí rovina, která má zelenou barvu. Je zřejmé, že model odlitku by nebylo možné vyjmout z formy bez jejího poškození. Bylo tedy nutné změnit nálitek tak, aby tento problém odpadl, což je zobrazeno na **obrázku 49**.

Na obrázku 48 jsou v popředí vidět dvě obráběná místa, na něž budou dosedat matice, jimiž bude ejektor připevněn k dělené komoře. Obrobená plocha v pravé dolní části obrázku vznikne prostým axiálním najetím frézy. Obrobená plocha v pravé horní části obrázku však kvůli nálitku pro hřídelku vírové klapky nemůže být obrobena stejným způsobem, ale je nutno ji obrobit frézou menší velikostí, která najede ze dvou různých směrů. V dodaném modelu však toto nebylo zohledněno.

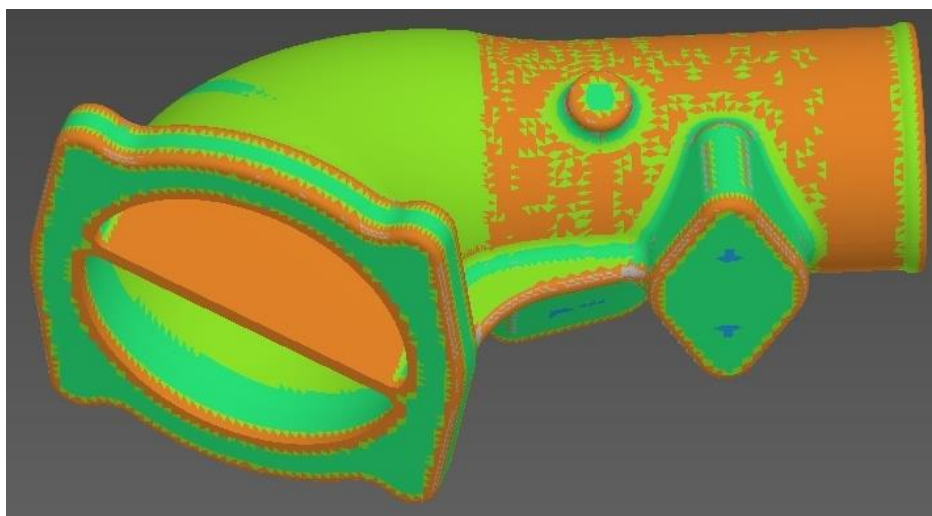


*Obr. 48 Pohled na první verzi děleného ejektoru ve směru přívodu plnicího vzduchu*

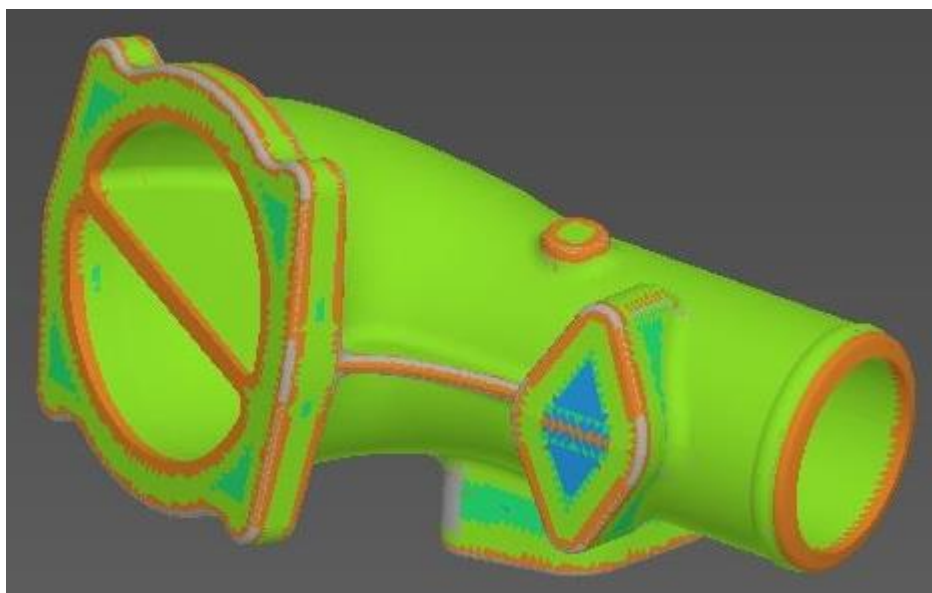


*Obr. 49 Finální model děleného ejektoru*

Jak bylo zmíněno, také u ejektoru bylo nutno upravit tloušťku stěn odlitku. Na **obrázku 50** je zobrazena kontrola tloušťky stěn původní verze děleného ejektoru. Oranžovou barvu mají části tenčí než 4 mm, světle zelenou barvu mají části o tloušťce větší než 5 mm. Naproti tomu na **obrázku 51** jsou části upraveného děleného ejektoru s dostatečnou tloušťkou, tedy přes 5 mm, zobrazeny světle zelenou barvou. Tloušťka odlitku byla opět měřena metodou Sphere Method (Diameter).



*Obr. 50 Kontrola tloušťky stěn původní verze odlitku děleného ejektoru*

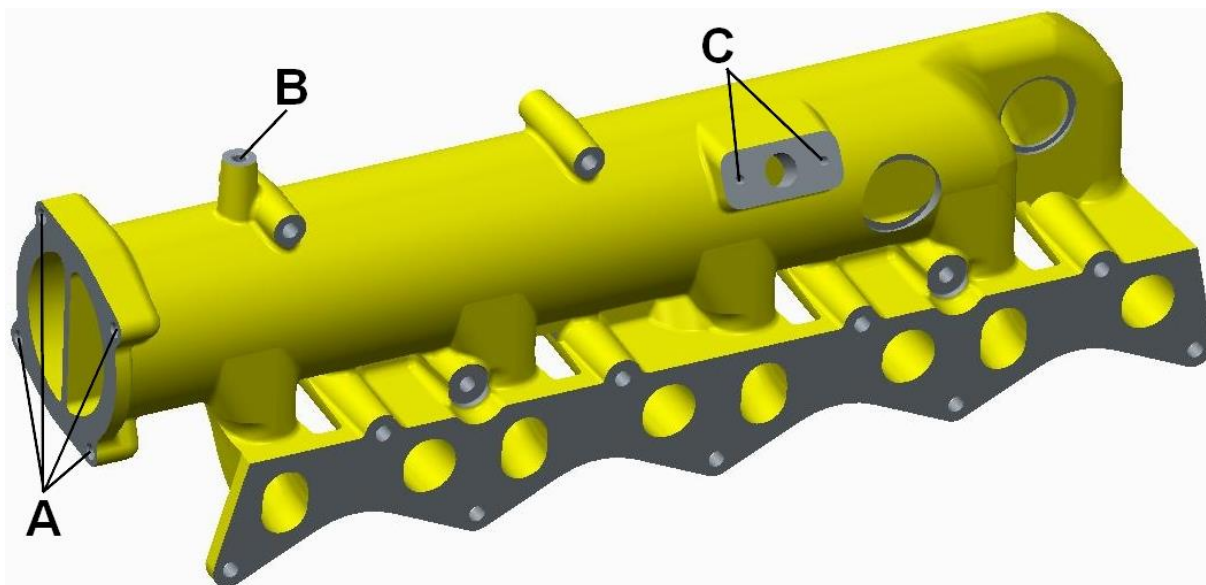


*Obr. 51 Kontrola tloušťky stěn finální verze odlitku děleného ejektoru*

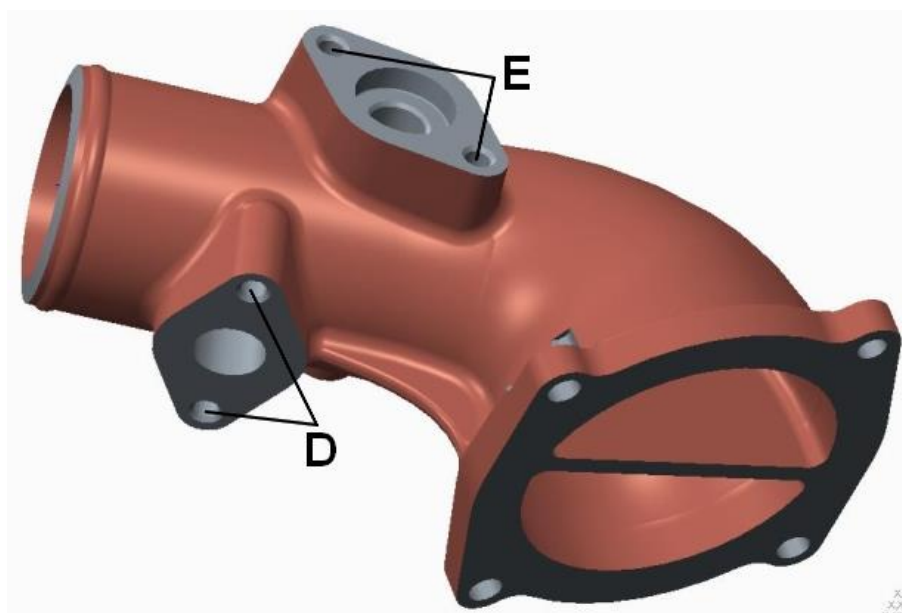


## 6 KONTROLNÍ VÝPOČTY ŠROUBOVÝCH SPOJŮ

Jedním z dalších cílů této práce bylo určit, zda nedojde k otlacení závitů po utažení šroubů potřebným utahovacím momentem. Na **obrázcích 52** a **53** jsou označena místa, kde se předpokládá použití šroubů, pro něž byla počítána bezpečnost na otlacení závitů při utahování. Utahovací momenty jsem určil dle tabulky, kterou mi poskytl vedoucí práce, a to pro nemazané spoje šrouby se závitem M8 o pevnostní třídě 8.8, a šroubem se závitem M6 o pevnostní třídě 5.8. Tato tabulka je uvedena v **příloze 1**.



Obr. 52 Dělená komora - označení míst kontrolovaných na otlacení



Obr. 53 Dělený ejektor - označení míst kontrolovaných na otlacení

V místech s označením **A** budou umístěny závrtné šrouby sloužící pro připevnění ejektoru, šroubem umístěným v místě **B** bude přichycena trubka přívodu mazání turbodmychadla, a v místech **C** budou šrouby, kterými bude připevněn snímač teploty a tlaku v plnicí komoře.



Písmeno **D** značí místo, ve kterém je k ejektoru připevněna trubka přívodu EGR, v místě **E** pak budou šrouby, kterými bude přichycen aktuátor ovládající pohyb hřídelky s vírovou klapkou.

Bezpečnost na otláčení závitů lze určit dle vztahu:

$$k_o = \frac{p_{dov}}{p}, \quad (1)$$

kde  $p$  je tlak v závitech šroubu, a  $p_{dov}$  je nejvyšší dovolený tlak v závitech v součásti. Hodnoty dovoleného tlaku v závitech spojovacích šroubů jsou uvedeny ve zdroji [27]. Tlak v závitech vyvolaný silou předpětí lze spočítat dle vztahu [27]:

$$p = \frac{2 \cdot F_{pr}}{\pi \cdot d_2 \cdot n_z \cdot P}. \quad (2)$$

Do tohoto vztahu je nutno dosadit střední průměr závitu  $d_2$  a rozteč závitů  $P$ , které jsou uvedeny ve zdroji [30], a také počet závitů  $n_z$ , který se spočítá dle vztahu:

$$n_z = \frac{l_z}{P}, \quad (3)$$

kde  $l_z$  je délka zašroubování v součásti, a  $P$  je stoupání závitu. Délku zašroubování lze vyčíst z výkresů v **přílohách 2 a 3**.

Při výpočtu síly předpětí ve šroubu jsem vycházel ze vztahu pro utahovací moment [27]:

$$M_u = F_{pr} \cdot K_t \cdot d_j, \quad (4)$$

kde  $d_j$  je jmenovitý průměr závitu, a  $K_t$  je součinitel utahovacího momentu, jehož hodnoty jsem čerpal ze zdroje [27], a to pro šrouby s povrchovou úpravou zinkováním.

Ze vztahu (4) jsem určil vztah pro sílu předpětí vyvolanou utahovacím momentem:

$$F_{pr} = \frac{M_u}{K_t \cdot d_j}. \quad (5)$$

Výsledky výše uvedených výpočtů, jakož i všechny veličiny do výpočtů vstupujících, jsou uvedeny v **tabulce 2**.



Tab. 2 Výpočet bezpečnosti na otláčení závitů použitých šroubů [27, 30]

Šroub	$M_u$ [Nm]	$d_j$ [mm]	$K_t$ [-]	$F_{pr}$ [kN]	$d_2$ [mm]	$P$ [mm]	$l_z$ [mm]	$n_z$ [-]	$p_{dov}$ [MPa]	$p$ [MPa]	$k_o$ [-]
A (M8x22 ČSN 02 1178)	24	8	0,2	16,25	7,188	1,25	14	11,2	60	102,8	0,584
B (M8x22 ČSN 02 1178)	24	8	0,2	16,25	7,188	1,25	18	14,4	60	79,96	0,75
C (M6x16 ČSN 02 1178)	6	6	0,2	5	5,35	1	17	17	35	35	1
D (M8x25 ČSN 02 1201)	24	8	0,2	16,25	7,188	1,25	14	11,2	60	102,8	0,584
E (M8x20 ČSN 02 1207)	24	8	0,2	16,25	7,188	1,25	14	11,2	60	102,8	0,584

Z posledního sloupce tabulky je zřejmé, že nelze předpokládat, že závity v odlitcích snesou otláčení při utahování. Pouze u šroubu se závitem M6 je bezpečnost  $k_o = 1$ , což však nestačí. Navíc síly předpětí, které vycházely, jsou nižší než ty, které jsou uvedeny v tabulce uvedené v příloze 1. Řešením tedy je dotahování nižším momentem, případně mazání závitů. Další možností by mohlo být prodloužení délky závitů v odlitcích. Toto by však bylo možné jen u závitů M8 u dělené komory, kdy v nálitku pro šrouby B je ještě trochu místa, a závity pro šrouby B by tak mohly být průchozí. U zbývajících závitů na dělené komoře, stejně jako u ejektoru, jsou však možnosti pro takové úpravy omezené.

Nicméně bylo vyzkoušeno počítat maximální sílu předpětí ve šroubech a maximální utahovací momenty pro navrženou bezpečnost vůči otláčení závitů při utahování  $k_n = 1,5$ . Z této bezpečnosti byl na základě vztahu (1) vypočten maximální tlak v závitech, a to podle vztahu:

$$p_n = \frac{p_{dov}}{k_n}. \quad (6)$$

Takto vypočítaný tlak byl dosazen do vztahu pro sílu předpětí ve šroubu, který byl odvozen ze vztahu (2):

$$F_{prn} = \frac{\pi \cdot d_2 \cdot n_z \cdot P \cdot p_n}{2}. \quad (7)$$

Tato síla byla dosazena do vztahu (4), čímž byl spočítán nejvyšší utahovací moment, při němž bude zajištěna navrhovaná bezpečnost  $k_n = 1,5$ . Výsledky uvedených výpočtů jsou v **tabulce 3**.

Tab. 3 Utahovací momenty použitých šroubů při bezpečnosti  $k_n = 1,5$  [27, 30]

Šroub	$k_n$ [-]	$p_n$ [MPa]	$p_{dov}$ [MPa]	$d_2$ [mm]	$P$ [mm]	$l_z$ [mm]	$n_z$ [-]	$F_{prn}$ [kN]	$K_t$ [-]	$d_j$ [mm]	$M_n$ [Nm]
A (M8x22 ČSN 02 1178)	1,5	40	60	7,188	1,25	14	11,2	6,32	0,2	8	10,1
B (M8x22 ČSN 02 1178)	1,5	40	60	7,188	1,25	18	14,4	8,13	0,2	8	13
C (M6x16 ČSN 02 1178)	1,5	23,33	35	5,35	1	17	17	3,33	0,2	6	4
D (M8x25 ČSN 02 1201)	1,5	40	60	7,188	1,25	14	11,2	6,32	0,2	8	10,1
E (M8x20 ČSN 02 1207)	1,5	40	60	7,188	1,25	14	11,2	6,32	0,2	8	10,1

Z posledního sloupce tabulky vidíme, že utahovací momenty jsou poměrně nízké. Jedná se však o maximální utahovací momenty, které by neměly být překročeny. Pokud se při testech ověří, že vypočtené utahovací momenty budou dostatečné pro spolehlivé připevnění všech součástí, lze je bez velkých obav zahrnout do montážních postupů.



## ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá tvorbou modelů a výkresové dokumentace dělené komory a děleného ejektoru. V rešeršní části byl představen problém, se kterým se v dnešní době potýkají všichni výrobci spalovacích motorů, a sice neustále se zpřísnující legislativní normy určující maximální dovolené množství škodlivých látek ve výfukových plynech. Dále byly popsány aktivní a pasivní prostředky, kterými lze dosáhnout snížení emisí vznětových motorů.

V konstrukční části diplomové práce byly podle dodaných modelů vytvořeny modely dělené komory a děleného ejektoru, a to podle systému používaného v Zetoru. Při návrhu bylo nutno přihlížet zejména ke způsobu výroby těchto dílů odléváním do pískové formy, a řešit komplikace s tím spojené, zejména tloušťky stěn odlitků, a technologické úkosy, aby bylo možné modely odlitků vyjmout z formy.

V další části práce jsou provedeny kontrolní výpočty šroubových spojů na navrhovaných součástech, konkrétně výpočet bezpečnosti na otláčení závitů šroubů při jejich utahování předepsaným momentem. Bylo zjištěno, že pro zadané utahovací momenty je bezpečnost proti otláčení závitů  $k_o$  prakticky u všech spojů nižší než 1. Následně byly spočteny maximální utahovací momenty pro bezpečnost proti otláčení závitů  $k_n = 1,5$ . Tyto momenty jsou však nízké, bude tedy nutno prověřit, zda jsou dostačující ke spolehlivému upevnění součástí. Jednou z možností zajišťujících vyšší bezpečnost vůči otláčení závitů by mohlo být mazání závitů před montáží šroubů. Druhou možností může být prodloužení závitů v těch místech, kde je pro to dostatek materiálu.

Autor diplomové práce se při jejím zpracování náležitě přesvědčil o tom, že při návrhu součástí je nutno zabývat se nejen jejich funkcí, ale také přihlížet ke způsobu jejich výroby, neboť tento má značný vliv na jejich cenu nejen z hlediska samotné výroby, ale i času stráveného jejich úpravou.

Bohužel nebyl splněn jeden z cílů diplomové práce, kterým bylo ověření vlivů navrhovaného konstrukčního řešení na parametry motoru, a to z důvodu časové tísně způsobené mimo jiné také iteračním upravováním modelů. Cíl práce spočívající v tvorbě výrobních výkresů však byl splněn.



## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] VOJKŮVKA, F. *Návrh plicního systému motoru s uvažováním recirkulace výfukových plynů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 94 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Radim Dundálek, Ph.D.
- [2] HEISLER, Heinz. *Advanced Engine Technology*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. 794 s. ISBN 1-56091-734-2.
- [3] *Emission Standards: Europe: Nonroad Diesel Engines* [online]. Poslední revize 13. 4. 2014. Dostupné z URL: <<http://www.dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php>>.
- [4] *Co zachytí neviditelná ruka: Autopress* [online]. Poslední revize 16. 4. 2014. Dostupné z URL: <<http://www.autopress.cz/?page=46.co-zachyti-neviditelna-ruka>>.
- [5] *DPF (Diesel Particulate Filter)* [online]. Poslední revize 16. 4. 2014. Dostupné z URL: <<http://cs.autolexicon.net/articles/dpf-diesel-particulate-filter/>>
- [6] *CRT Filter* [online]. Poslední revize 16. 4. 2014. Dostupné z URL: <[http://www.dieselnet.com/tech/dpf\\_crt.php](http://www.dieselnet.com/tech/dpf_crt.php)>
- [7] VLK, F., RAUSCHER, J. *Příslušenství motorových vozidel* [online], poslední revize 28. 4. 2014. Dostupné z URL: <<http://www.iae.fme.vutbr.cz/studium-podklady-ke-studiu-studijni-opory>>
- [8] *Renault.com - NOx Trap* [online]. Poslední revize 28. 4. 2014. Dostupné z URL: <<http://www.renault.com/en/Innovation/gamme-mecanique/Pages/nox-trap.aspx>>
- [9] *Selektivní katalytická redukce* [online]. Poslední revize 28. 4. 2014. Dostupné z URL: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Selektivn%C3%AD\\_katalytick%C3%A1\\_redukce](http://cs.wikipedia.org/wiki/Selektivn%C3%AD_katalytick%C3%A1_redukce)>
- [10] ADAM & PARTNER. *Technologie SCR* [online]. Poslední revize 28. 4. 2014. Dostupné z URL: <<http://www.adblue-bluesky.cz/technologie-scr/>>
- [11] *Emise vznětového motoru a systém SCR* [online]. Poslední revize 29. 4. 2014. Dostupné z URL: <<http://www.agrics.cz/obrazky-soubory/emise-vznetoveho-motoru-a-system-scr-4107d3.pdf?redir>>
- [12] VLK, F. *Vozidlové spalovací motory*, 1. vydání, Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc, 2003. 578 s. ISBN 80-238-8756-4.
- [13] ŠMERDA, T., ČUPERA J., FAJMAN M.. *Vznětové motory vozidel: biopaliva, emise, trakty*. CPress, 1. vydání, Brno, 2013, 136 s. ISBN 978-80-264-0160-5.
- [14] *Exhaust gas recycling system* [online]. Poslední revize 2. 5. 2014. Dostupné z URL: <<http://www.dupontelastomers.com/autofocus/a11/EGR%20presentation%20%20final%208.pdf>>
- [15] *BASF explains how diesel catalysts work* [online]. Poslední revize 2. 5. 2014. Dostupné z URL: <<http://green.autoblog.com/2008/04/10/basf-explains-how-diesel-catalysts-work/>>



- [16] RAUSCHER J. *Vozidlové motory* [online]. Poslední revize 5. 5. 2014. Dostupné z URL: <<http://www.iae.fme.vutbr.cz/userfiles/ramik/files/Vozidlove%20motory.pdf>>.
- [17] *Tvorba směsi paliva se vzduchem u zážehových motorů* [online]. Poslední revize 5. 5. 2014. Dostupné z URL: <[http://drogo.fme.vutbr.cz/opory/html/motory\\_a\\_pohony/pohony\\_a\\_motory/prednasky/oficialni\\_sylaby/4-2-tvorba\\_smesi-horeni.pdf](http://drogo.fme.vutbr.cz/opory/html/motory_a_pohony/pohony_a_motory/prednasky/oficialni_sylaby/4-2-tvorba_smesi-horeni.pdf)>
- [18] *BOSCH-Pressforum* [online]. Poslední revize 6. 5. 2014. Dostupné z URL: <[http://press.bosch.cz/detail.asp?f\\_id=269](http://press.bosch.cz/detail.asp?f_id=269)>
- [19] *Diesel Fuel Injection* [online]. Poslední revize 6. 5. 2014. Dostupné z URL: <[https://www.dieselnet.com/tech/diesel\\_fi.php](https://www.dieselnet.com/tech/diesel_fi.php)>
- [20] Diesel particle filter | Active continuous DPF regeneration - Diesel Post-injection technology [online]. Poslední revize 6. 5. 2014. Dostupné z URL: <<http://www.hussgroup.com/huss-umwelt/en/products/MD-System.php>>
- [21] JAN, Z., ŽDÁNSKÝ B. *Automobily 3 - Motory*. 2., aktualiz. vyd. Brno: Avid, 2008, 179 s. ISBN 978-80-87143-06-3.
- [22] *Wastegate bypass regulator valve* [online]. Poslední revize 8. 5. 2014. Dostupné z URL: <[http://s4wiki.com/wiki/Wastegate\\_bypass\\_regulator\\_valve](http://s4wiki.com/wiki/Wastegate_bypass_regulator_valve)>
- [23] *The function of tumble flaps and swirl flaps* [online]. Poslední revize 9. 5. 2014. Dostupné z URL: <<http://pmmonline.co.uk/technical/function-tumble-flaps-and-swirl-flaps>>
- [24] *What are BMW swirl flaps* [online]. Poslední revize 9. 5. 2014. Dostupné z URL: <<http://www.swirlflaps.co.uk/what-are-swirl-flaps.html>>
- [25] *Swirl flap* [online]. Poslední revize 9. 5. 2014. Dostupné z URL: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Swirl\\_flap](http://en.wikipedia.org/wiki/Swirl_flap)>
- [26] *Obrázky zaslané technology slévárny při elektronické konzultaci*
- [27] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE, Richard G BUDYNAS a Miloš VLK. *Konstruování strojních součástí*. 1. vyd. V Brně: VUTIUM, 2010, xxv, 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [28] *Ammonia Slip Catalysts* [online]. Poslední revize 18. 5. 2014. Dostupné z URL: <<http://www.jmsec.com/cm/Products/Ammonia-Slip-Catalysts.html>>
- [29] *Selective Catalytic Reduction* [online]. Poslední revize 18. 5. 2014. Dostupné z URL: <[https://www.dieselnet.com/tech/cat\\_scr.php](https://www.dieselnet.com/tech/cat_scr.php)>
- [30] *Technické tabulky* [online]. Poslední revize: 20. 5. 2014. Dostupné z URL: <[http://amapro.cz/datove\\_zdroje/knihy/\\_strojnictvi/technicke\\_tabulky/technicketabulky\\_15.php](http://amapro.cz/datove_zdroje/knihy/_strojnictvi/technicke_tabulky/technicketabulky_15.php)>



## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ASC	[-]	katalyzátor proti úniku čpavku (anti slip catalyst)
$d_2$	[mm]	střední průměr závitu šroubu
$d_j$	[mm]	jmenovitý průměr šroubu
DOC	[-]	kontinuální regenerační systém
DPF	[-]	filtr pevných částic
EGR	[-]	recirkulace výfukových plynů
$F_{pr}$	[kN]	síla předpětí ve šroubu
$F_{pm}$	[kN]	síla předpětí ve šroubu vypočtená na základě navrhované bezpečnosti
HC	[-]	nespálené uhlovodíky
$k_n$	[-]	navrhovaná bezpečnost závitů vůči otláčení
$k_o$	[-]	bezpečnost závitů vůči otláčení
$K_t$	[-]	součinitel utahovacího momentu
$l_z$	[mm]	délka zašroubování
$M_n$	[Nm]	utahovací moment vypočtený na základě navrhované bezpečnosti
$M_u$	[Nm]	utahovací moment
$NO_x$	[-]	oxidy dusíku
$n_z$	[-]	počet závitů
P	[mm]	rozteč závitů
p	[MPa]	tlak v závitech
$p_{dov}$	[MPa]	dovolený tlak v závitech šroubů
PM	[-]	pevné částice
$p_n$	[MPa]	tlak v závitech vypočtený na základě navrhované bezpečnosti
SCR	[-]	selektivní katalytická redukce



## SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1** Typické složení výfukových plynů vznětového motoru v %
- Obr. 2** Přibližný průběh vstřiku paliva u systému Common Rail
- Obr. 3** Tangenciální a šroubový sací kanál
- Obr. 4** Funkce vírové klapky
- Obr. 5** Pohled na vírovou klapku
- Obr. 6** Toroidní spalovací prostor ve dně pístu
- Obr. 7** Princip odpouštění výfukových plynů před turbínou
- Obr. 8** Řez turbodmychadlem s variabilní geometrií
- Obr. 9** Ovládání nastavení rozváděcích lopatek
- Obr. 10** Proudění výfukových plynů na lopatky turbíny při různých otáčkách motoru
- Obr. 11** Oxidační katalyzátor
- Obr. 12** Filtr pevných částic
- Obr. 13** Systém se vstřikem nafty do výfukového potrubí
- Obr. 14** Schéma vysokotlaké recirkulace výfukových plynů
- Obr. 15** Schéma nízkotlaké recirkulace výfukových plynů
- Obr. 16** Základní části systému SCR
- Obr. 17** Nedělený ejektor
- Obr. 18** Dodaný model dělené komory sání
- Obr. 19** Model nedělené komory sání dodaný pro inspiraci
- Obr. 20** Dodaný model děleného ejektoru
- Obr. 21** Dodaný model sestavy sání s proměnným průřezem
- Obr. 22** Původní verze modelu REF dělené komory
- Obr. 23** Původní verze modelu PLA dělené komory
- Obr. 24** Původní verze modelu ODL dělené komory
- Obr. 25** První model dělené komory - pohled z levé strany
- Obr. 26** První model dělené komory - pohled z pravé strany



- Obr. 27** Původní verze modelu REF děleného ejektoru
- Obr. 28** Původní verze modelu JAD děleného ejektoru
- Obr. 29** Původní verze modelu PLA děleného ejektoru
- Obr. 30** Původní verze modelu ODL děleného ejektoru
- Obr. 31** Model první verze děleného ejektoru
- Obr. 32** Jádra původního návrhu dělené komory
- Obr. 33** Jádra finálního návrhu dělené komory
- Obr. 34** Předpokládaný průběh dělicí roviny jader dělené komory - pohled zepředu
- Obr. 35** Předpokládaný průběh dělicí roviny jader dělené komory - pohled zezadu
- Obr. 36** Úkosová analýza první verze dělené komory - izometrický pohled
- Obr. 37** Dělicí rovina první verze dělené komory - pohled zespodu
- Obr. 38** Finální model dělené komory - pohled z pravé strany
- Obr. 39** Původní náliček pro snímač přetlaku pro antikorektor vstřikovacího čerpadla
- Obr. 40** Upravený náliček pro snímač přetlaku pro antikorektor vstřikovacího čerpadla
- Obr. 41** Detailní pohled na navržené obrobení otvorů po známkách jader
- Obr. 42** Kontrola tloušťky stěn odlitku dělené komory metodou Ray Method
- Obr. 43** Kontrola tloušťky stěn odlitku dělené komory metodou Sphere Method (Contact Distance)
- Obr. 44** Kontrola tloušťky stěn odlitku dělené komory metodou Sphere Method (Diameter)
- Obr. 45** Kontrola tloušťky stěn upraveného modelu odlitku dělené komory
- Obr. 46** Kontrola tloušťky stěn finálního modelu odlitku dělené komory
- Obr. 47** Finální model dělené komory
- Obr. 48** Pohled na první verzi děleného ejektoru ve směru přívodu plicního vzduchu
- Obr. 49** Finální model děleného ejektoru
- Obr. 50** Kontrola tloušťky stěn původní verze odlitku děleného ejektoru
- Obr. 51** Kontrola tloušťky stěn finální verze odlitku děleného ejektoru
- Obr. 52** Dělená komora - označení míst kontrolovaných na otlačení



**Obr. 53** Dělený ejektor - označení míst kontrolovaných na otlačení



## SEZNAM TABULEK

**Tab. 1** Hodnoty emisních limitů pro nesilniční vozidla norem Stage pro vznětové motory

**Tab. 2** Výpočet bezpečnosti na otláčení závitů použitých šroubů

**Tab. 3** Utahovací momenty použitých šroubů při bezpečnosti  $k_n = 1,5$



## SEZNAM PŘÍLOH

**Příloha č. 1** Tabulka maximálních dovolených utahovacích momentů a předpětí šroubů a matic

**Příloha č. 2** Výkres dělené komory (č.v. DP-2014-A1)

**Příloha č. 3** Výkres děleného ejektoru (č.v. DP-2014-A2)