

# Konstrukční návrh nízkotlaké větve sání pro automobil

Martin Dočekal

---

Bakalářská práce  
2020

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2019/2020

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	<b>Martin Dočekal</b>
Osobní číslo:	<b>T17076</b>
Studijní program:	<b>B3909 Procesní inženýrství</b>
Studijní obor:	<b>Technologická zařízení</b>
Forma studia:	<b>Kombinovaná</b>
Téma práce:	<b>Konstrukční návrh nízkotlaké větve sání pro automobil</b>

### Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Proveďte konstrukční řešení nízkotlaké větve sání.
3. Nakreslete příslušné výkresy.
4. Zhodnotte konstrukční variantu návrhu.

Forma zpracování bakalářské práce: **Tištěná/elektronická**

### Seznam doporučené literatury:

STAUBER, R. a L. VOLLRATH. *Plastics in automotive engineering: exterior applications*. Munich: Hanser Publishers, 2007, xv, 407 s. ISBN 978-1-56990-406-0.

DAVIES, Geoff. *Materials for automobile bodies*. 2nd ed. Place of publication not identified: Butterworth-Heinemann, 2012, 1 online zdroj. ISBN 9780080969794.

DAVIES, Geoff. *Materials for automobile bodies*. 2nd ed. Place of publication not identified: Butterworth-Heinemann, 2012, 1 online zdroj. ISBN 9780080969794.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Michal Staněk, Ph.D.**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **22. května 2020**

L.S.

---

**prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.**  
děkan

---

**prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.**  
ředitel ústavu

## **PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

### **Prohlašuji,**

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Cílem této práce je vytvořit, ve spolupráci se společností MANN+HUMMEL Service s.r.o., alternativní konstrukční návrh čisté strany nízkotlaké větve sání pro existující motor. Práce bude popisovat jednotlivé výrobní metody, bude vypracována modelová a výkresová dokumentace a simulace proudění vzduchu pro zjištění tlakové ztráty navrženého systému. Na závěr bude provedeno srovnání existujícího konstrukčního řešení a navržené alternativy.

Klíčová slova: automotive, sání motoru, alternativní konstrukční návrh, vstřikování, vyfukování, simulace proudění vzduchu

## **ABSTRACT**

The aim of this thesis is to create, in cooperation with MANN+HUMMEL Service s.r.o., an alternative design of the clean side duct for a low-pressure branch of the air intake system for existing an engine in cooperation with company MANN+HUMMEL Service s.r.o. This thesis will describe individual technologies of production, 3D and 2D documentation, and also an air flow simulation will be created. The final part of thesis will provide a comparison between the alternative design, and the existing system.

Keywords: automotive, air intake system, alternative design, injection molding, blow molding, air flow simulation

Tímto bych rád poděkoval všem, kteří se, jakkoliv podíleli na vzniku této práce. Zvláštní poděkování patří mému vedoucímu práce doc. Ing. Michalu Staňkovi Ph. D. a mému firemnímu vedoucímu práce Ing. Tomáši Fejtovi.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1 TEORIE SACÍCH SYSTÉMŮ</b> .....	<b>11</b>
1.1 ČÁSTI SACÍHO SYSTÉMU .....	12
1.1.1 Špinavá strana sacího potrubí.....	13
1.1.2 Čistič vzduchu .....	13
1.1.3 Čistá strana sacího potrubí .....	16
1.1.4 Chladič tlakového vzduchu .....	17
1.1.5 Plnicí kanály.....	18
1.2 FILTRACE VZDUCHU .....	19
1.2.1 Vzduchový filtr .....	22
1.2.2 Další druhy automobilových filtrů .....	22
1.3 AKUSTIKA SACÍCH SYSTÉMŮ .....	23
<b>2 POUŽÍVANÉ TECHNOLOGIE A MATERIÁLY</b> .....	<b>26</b>
2.1 VSTŘIKOVÁNÍ.....	26
2.1.1 Základní rozdělení polymerů .....	27
2.1.2 Vstřikovací stroje .....	28
2.1.3 Vstřikovací cyklus.....	29
2.1.4 Zastřikování.....	29
2.2 VYFUKOVÁNÍ PLASTŮ .....	30
2.3 SVAŘOVÁNÍ PLASTŮ .....	30
2.3.1 Vibrační svařování .....	31
2.3.2 Rotační svařování.....	31
2.3.3 Svařování horkým plynem .....	31
2.3.4 Svařování infračerveným zářením .....	31
2.3.5 Svařování ultrazvukem.....	32
<b>3 KONSTRUKČNÍ NÁVRH VSTŘIKOVANÝCH DÍLŮ</b> .....	<b>33</b>
3.1 TLOUŠŤKA STĚN .....	33
3.2 ŽEBROVÁNÍ.....	33
3.3 ÚKOSY .....	34
3.4 PŘESNOST VSTŘIKOVANÝCH DÍLŮ .....	34
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>36</b>
<b>4 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE</b> .....	<b>37</b>
<b>5 POUŽITÝ SOFTWARE</b> .....	<b>38</b>
5.1 CATIA V5 .....	38
5.2 ANSA .....	38
5.3 SIMCENTER STAR-CCM+ .....	39

<b>6</b>	<b>ORIGINÁLNÍ SYSTÉM .....</b>	<b>40</b>
<b>7</b>	<b>NÁVRH SACÍHO POTRUBÍ .....</b>	<b>41</b>
7.1	NÁVRH STŘEDNICE A VNITŘNÍHO OBJEMU .....	41
7.2	NÁVRH DĚLÍCÍ ROVINY SVAŘENCE .....	42
7.3	GUMOVÁ TRUBKA .....	42
7.4	NÁTRUBEK PRO ODVĚTRÁNÍ KLIKOVÉ SKŘÍNĚ .....	44
7.5	SVAŘENEC .....	44
7.6	VÍKO SVAŘENCE .....	45
7.7	TĚLO SVAŘENCE .....	46
7.8	IZOLAČNÍ VLOŽKA .....	47
7.9	OCELOVÉ SPONY SE ŠROUBEM .....	47
7.10	VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE .....	48
<b>8</b>	<b>SIMULACE PROUDĚNÍ .....</b>	<b>49</b>
8.1	ZPRACOVÁNÍ V PREPROCESSORU .....	49
8.2	VYTVOŘENÍ SÍTĚ KONEČNÝCH PRVKŮ .....	49
8.4	OKRAJOVÉ PODMÍNKY .....	50
8.5	VÝSLEDNÁ TLAKOVÁ ZTRÁTA .....	50
8.6	UNIFORMITA PROUDĚNÍ NA VÝSTUPU A SMĚR TURBULENCÍ .....	51
8.7	TURBULENTNÍ KINETICKÁ ENERGIE .....	53
8.8	DETAIL RYCHLOSTÍ PROUDĚNÍ .....	53
8.9	VYHODNOCENÍ SIMULACE PROUDĚNÍ .....	55
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>56</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>57</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>59</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>60</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>62</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>63</b>



## ÚVOD

Vypracování této práce vzniklo na základě spolupráce s vývojovým oddělením společnosti MANN+HUMMEL Service s.r.o. Tato společnost se zabývá vývojem filtračních systémů pro automobilový a strojní průmysl a je jedním z hlavních dodavatelů v tomto odvětví.

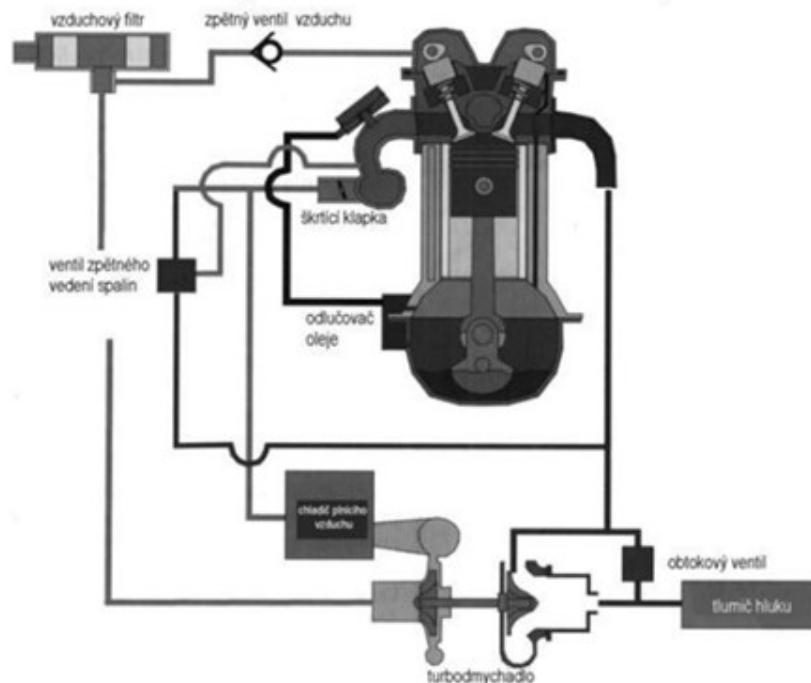
Teoretická část této práce se zabývá problematikou vývoje sání pro spalovací motory užívaných v automobilech. Dále se zabývá používanými technologiemi a materiály.

Praktická část práce se zabývá alternativním návrhem sání pro motor Tigershark 2.4, uvedený na trh v roce 2013 společností Fiat. Pro existující díl byla zvolena metoda vyfukování. V rámci této práce vytvořím alternativní konstrukční návrh, který bude vytvořen vstříkáním a následným svařováním plastů. Díly, které zajišťují těsnost mezi potrubím, komorou filtru a hrdlem turbo dmyhadla, budou navrženy z pryže.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 TEORIE SACÍCH SYSTÉMŮ

Hlavní funkcí sacího systému je dopravení spalovací směsi do vnitřního prostoru spalovacích válců. Množství a složení dopravované směsi je hlavním parametrem ovlivňujícím výkon motoru. Spalovací směs se skládá ze vzduchu a paliva, které musí být neustále v optimálním poměru, jinak by docházelo k neefektivnímu běhu motoru. V případě, kdy je ve směsi nedostatek paliva, hovoříme o tzv. chudé směsi. V tomto případě nedochází k plnému využití dopravované směsi a motor nedosahuje plného výkonu. Naopak v případě, kdy je ve směsi příliš mnoho paliva, hovoříme o příliš bohaté směsi. V tomto případě dochází k nedokonalému spalování, kdy část nespáleného paliva putuje do výfukového systému, který následně poškozuje. Z tohoto důvodu je nutné zajistit správný poměr paliva a vzduchu. Jelikož se ale v průběhu času množství dopravovaného vzduchu mění, je nutné měnit i množství přidávaného paliva. K mísení směsi může docházet uvnitř anebo mimo spalovací komoru. Pro mísení vzduchu s palivem uvnitř komory se užívá přímé vstřikování a pro mísení mimo válce se užívá karburátor a nepřímé vstřikování. Pokud jde o motor s vnější přípravou směsi, je nutné volit materiály jednotlivých dílů s ohledem na jejich odolnost vůči palivům, aby nedocházelo k narušení jejich vlastností. [1]



Obr. 1 Schéma sacího systému přeplňovaného zážehového motoru [2]

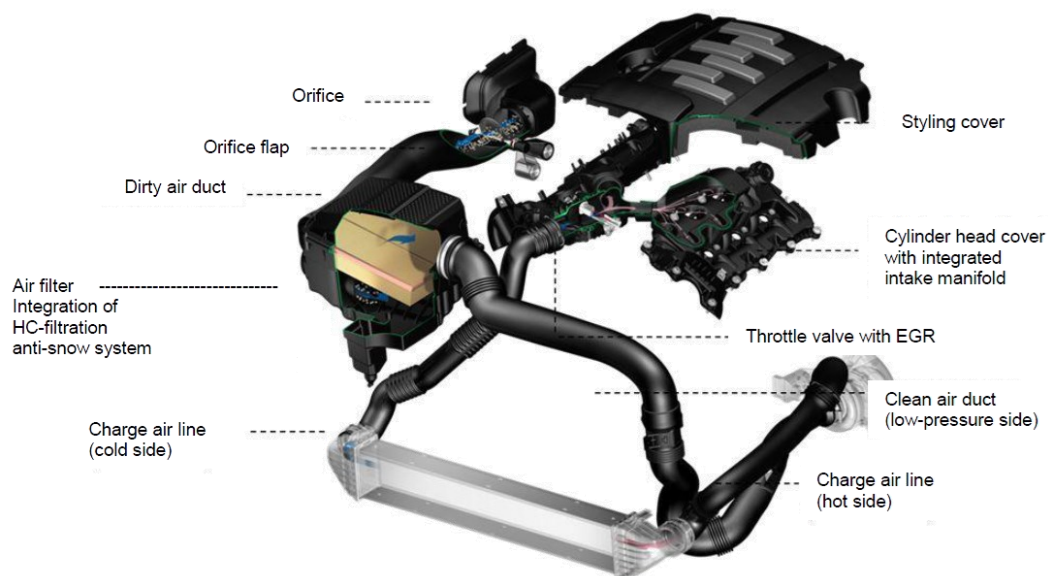
Z hlediska sacího systému je možné výkon motoru ovlivnit pouze množstvím dopravovaného vzduchu. Toto množství je možné zvýšit pouze tlakem a teplotou dopravované směsi. Ke zvýšení tlaku se užívá různých dmychadel. [1]

Další funkcí sacího systému, je tlumení hluku, který je veden ze spalovací komory do okolí motoru. Ke snížení vedeného hluku pozitivně přispívá vyšší objem komory filtru, délka celého sacího systému, malý vnitřní průřez potrubí a případné rezonátory připevněné na systém. [1]

Cílem konstrukčního návrhu celého systému je vytvořit takový systém, který bude schopen dopravit do válců dostatečné množství čistého vzduchu a zároveň utlumit dostatek zvuku, aby automobil plnil regulace ohledně hlukových emisí, které jsou stanovené Evropskou unií, popřípadě jiným lokálním regulačním orgánem. Toto vytváří několik protichůdných požadavků a v rámci návrhu je třeba nalézt ideální kompromis mezi tlakovou ztrátou a akustickými vlastnostmi celého systému. [3]

## 1.1 Části sacího systému

Sací systém se u většiny motorů skládá z tak zvané špinavé strany, vzduchového filtru, čisté části nízkotlaké větve, škrťací klapky a plnicích kanálů. U přeplňovaných motorů můžeme dále najít kompresor, chladič tlakového vzduchu, též nazýván mezichladič, a tlakové potrubí. Veškeré díly je nutné navrhnut s myšlenkou jednoduché montáže a možností vyměnitelnosti v případě poškození v průběhu životnosti vozidla. [3]



Obr. 2 Vizualizace sacího systému pro přeplňovaný motor [4]

### 1.1.1 Špinavá strana sacího potrubí

Špinavá strana sacího potrubí je první díl ve směru proudění vzduchu. Jeho hlavní funkcí je vést vzduch z okolní automobilu ke vzduchovému filtru uloženém v čističi. Důvodem, proč se do automobilu umísťuje a vzduch se nenasával přímo u vzduchového filtru, je, aby nasával vzduch z vně automobilu, nikoliv z motorového prostoru. [3]

Nejčastějším místem odkud se vzduch nasává je maska automobilu. Ačkoliv to není žádoucí, v určitých případech je vzduch nasáván v jiných místech vozidla. Například za kolem, či z kapoty. Sání vzduchu z prostoru masky má mnoho výhod. Mezi hlavní výhody patří kompenzace tlakové ztráty, jelikož vzduch je nasáván ve směru jízdy, a též nasávání vzduchu o venkovní teplotě, jelikož vzduch nasávaný z ostatních míst vozidla může být zahřátý od motoru, či brzdových kotoučů. [3]

Na rozdíl od ostatních dílů sacího systému, špinavé potrubí nemusí být vzduchotěsné. Toto konstrukční zjednodušení plyne z toho, že vzduch vedený špinavou větví nebyl dosud přefiltrován a ekonomická nevýhodnost požadované těsnosti by převážila výhody vzduchu nasávaného pouze z okolí automobilu. Z tohoto důvodu se ke spojování jednotlivých dílů špinavého potrubí obvykle nepoužívají spony či svařování, ale záckvaky a příležitostně šrouby. Jelikož špinavá strana není vzduchotěsná je nutné navrhnout celý systém tak, aby veškeré netěsné spoje byly nad úrovní, kam se může dostat voda, protože by mohlo dojít k nasátí vody do motoru a tím k jeho poškození. [3]

Další funkcí špinavého potrubí je omezení množství hluku přenášeného od motoru do okolí vozidla. Z tohoto důvodu se na tento díl v některých případech přidávají akustické prvky. Mezi tyto prvky patří resonátory, či děrování, které sníží akustický tlak a tím sníží množství hluku vedeného ven z vozidla. Je vhodné, aby vstup do špinavé trubky měl zvoncový tvar. Tento tvar zajišťuje ideální proudění na vstupu systému a tím snižuje výslednou tlakovou ztrátu. [3]

### 1.1.2 Čistič vzduchu

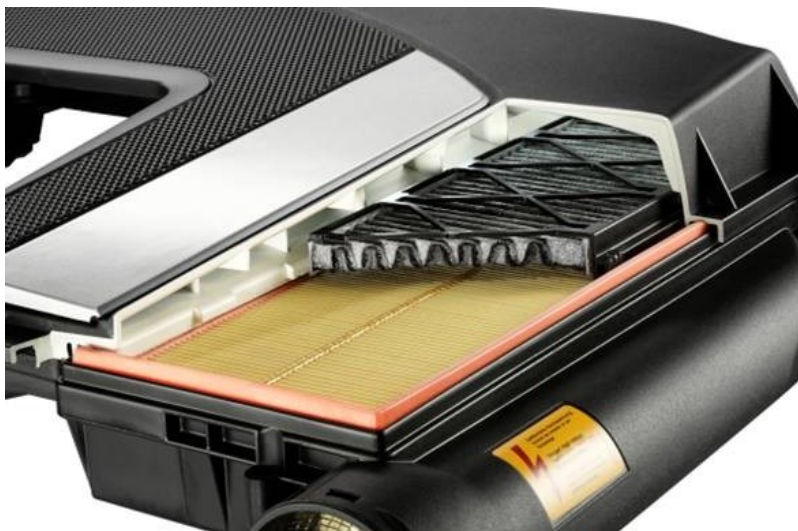
Čistič vzduchu je díl, ve kterém je uložen vzduchový filtr. V případě konstrukčních, či legislativních, požadavků zde bývá umístěna i váha vzduchu, separátor vody a adsorbér uhlovodíků. [3]

Hlavní funkcí je uložení vzduchového filtru a oddělení špinavé a čisté strany sání. O všech dílech před filtrem mluvíme o tak zvané špinavé straně a o všech dílech za filtrem jako o

čisté straně. Jelikož odděluje špinavou a čistou stranu je nutné zajistit vzduchotěsnost všech spojů, aby nedošlo ke kontaminaci prachem. [3]

Jeho další velmi podstatnou funkcí je akustické tlumení. K tomuto využívá objem vzduchu uložený uvnitř čističe. Z tohoto důvodu je snaha vyvinout čistič s co největším objemem. Tento požadavek ovšem musí být podřízen poloze ostatních dílů vozidla a výrobním možnostem. U osobních automobilů větších zdvihových objemů motoru bývají běžné vnitřní objemy až patnáct litrů a u nákladních automobilů bývají mnohonásobně větší. Aby se zamezilo přenosu hluku do okolí stěnami čističe navrhuje se s dostatečnou dynamickou tuhostí. Požadované dynamické tuhosti lze dosáhnout zakřivením stěn, nebo přidáním vyztužující prvků jako jsou prolisy, či žebrování. Konstrukční návrh se velmi liší podle druhu zvoleného filtru. Mezi hlavní druhy filtrů patří ploché, válcové a kuželové. [3]

Jak už bylo zmíněno součástí čističe bývají i adsorbéry uhlovodíků. Ty bývají z legislativních důvodů umístěny v automobilech vyráběných pro Severní a Jižní Ameriku a Asii. Skládají se z plastového rámečku a absorpčního média s aktivním uhlím. Jejich hlavní funkcí je pohlcování uhlovodíků, vzniklých při odpařování zbytkového paliva, které by jinak unikly do okolí, když je motor vypnutý. [3]



*Obr. 3 Příklad uložení adsorbéru uhlovodíků [4]*

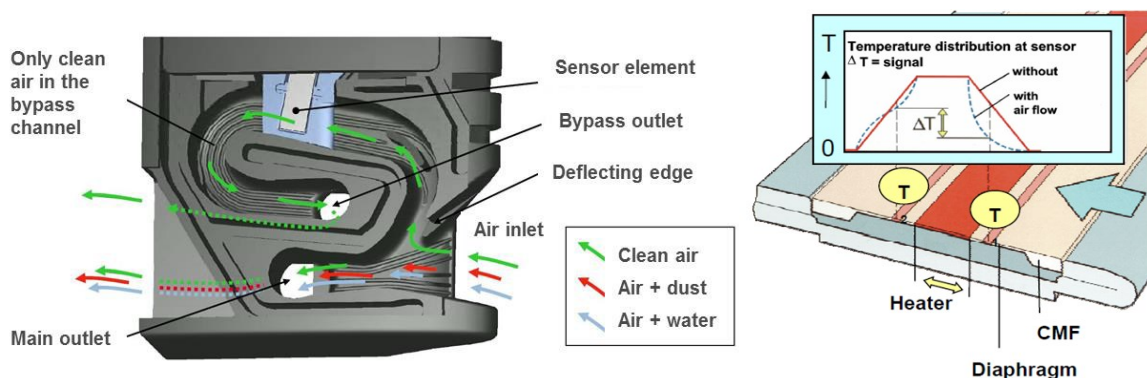
Dalším konstrukčním požadavkem na konstrukci čističe vzduchu je zajištění co nejlepšího rozložení proudění průřezem filtru. Dosažení rovnoměrného proudění bývá žádoucí, aby se dosáhlo snížení tlakové ztráty a zvýšení filtrační účinnosti. Toto nebývá vždy jednoduché, jelikož vzduch většinou vstupuje do filtru mimo střed a v jiné orientaci, než je orientace

skladů filtru. Dosáhnout tohoto požadavku lze například umístěním vodících žebér na špinavé straně čističe. Tato žebra je vhodné optimalizovat pomocí simulace proudění. [3]

V průběhu provozu automobilu do čističe bývá nasáváno malé množství vody a sněhu. Aby nedošlo k nahromadění této vody a následnému promočení filtru, umísťuje se do nejnižšího bodu čističe odvodňovací ventil. [3]

Výstup z čističe vzduchu bývá u filtru většinou opatřen zvoncovým nátrubkem. Tento prvek snižuje tlakovou ztrátu a zvyšuje rovnoměrné rozložení proudění výstupem. V ojedinělých případech se do konstrukčního návrhu nezpracovává. Důvody mohou být ekonomické, nebo technologické. Zakončení výstupu bývá navrženo tak, aby bylo možné dosáhnout těsnosti mezi čističem a čistým potrubím. Je proto nezbytné, aby na těsnící geometrii nebyla dělicí rovina, ani jiné otřepy. Z tohoto důvodu se při odformování pro tuto část velmi často užívá převlékání. [3]

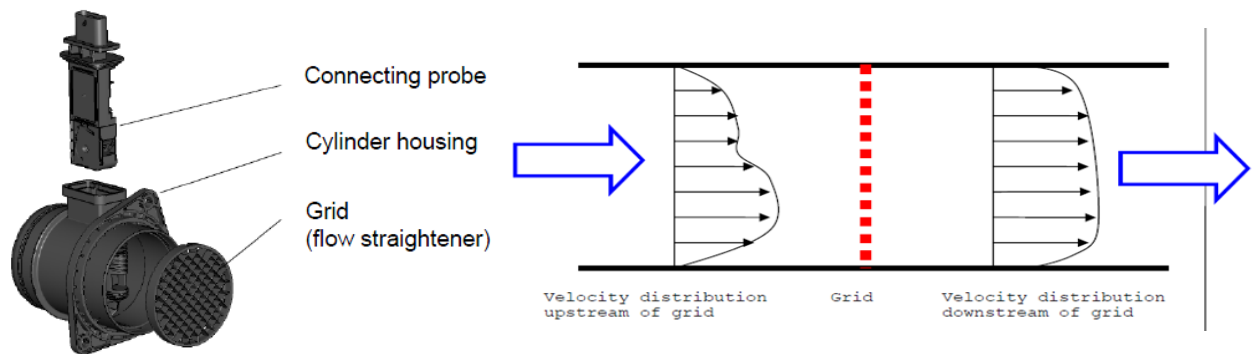
V případě konstrukčního požadavku zákazníka bývá na výstupu umístěna váha vzduchu. Funkcí tohoto dílu je snímat množství přepravovaného vzduchu, aby mohl být zajištěn správný poměr smísení vzduchu s palivem. Váha vzduchu funguje na principu zaznamenávání distribuce teploty na ohřivaném vodivém plátku. Čím vyšší je průtok vzduchu, tím více jsou ochlazené okraje vyhřívajícího dílu. Pro zajištění správné funkce a snímání co nejpřesnějších hodnot, je nutné zajistit co nejvyšší uniformitu proudění v oblasti snímání. [3]



Obr. 4 Princi funkce váhy vzduchu [4]

Toho lze v případě potřeby dosáhnout umístěním mřížky v dostatečné vzdálenosti od snímače. Ačkoliv mřížka způsobí zvýšení tlakové ztráty, je uniformita proudění nezbytný požadavek, kterého je nutné dosáhnout. Dalším požadavkem pro správnou funkci váhy vzduchu je uložení v kruhovém průřezu. Tento kruhový průřez je nutné zajistit v určité

vzdálenosti před a za váhou vzduchu. Je proto nutné zajistit správnou polohu výstupu čističe, aby v této části nebyly žádné výřezy. Tato požadovaná vzdálenost se liší dle výrobce, ale standardně se pohybuje v nižších desítkách milimetrů. [3]



Obr. 5 Uložení mřížky a její vliv na proudění [4]

Standardně se díly čističe vzduchu vyrábějí z polypropylenů a polyamidů plněných sklem či talkem. Ke spojení jednotlivých částí čističe se především užívá zácvakových geometrií, pantů, nebo samořezných šroubů. Výjimečně se v případě geometrické složitosti užívá svařování. [3]

### 1.1.3 Čistá strana sacího potrubí

Hlavní funkcí potrubí na čisté straně sání je vedení vzduchu od čističe dále k motoru. Čisté potrubí můžeme rozdělit na dva druhy podle jeho umístění. Prvním druhem je nízkotlaké, které je umístěné mezi čističem vzduchu a klapkou, případně dmychadlem u přepřňovaných motorů. Druhým druhem je vysokotlaké potrubí, které bývá umístěno mezi dmychadlem a klapkou a vyskytuje se pouze u přepřňovaných motorů. [3]

Jelikož se čistým potrubím vede již přefiltrovaný vzduch je nutné zajistit těsnost dílů a veškerých spojů. Je nutné zajistit čistotu dílů, aby nedošlo ke kontaminaci plnicího vzduchu nečistotami vzniklými v průběhu výroby. Toto zvyšuje ekonomickou a technologickou náročnost. Ke spojování jednotlivých dílů se používá ocelových objímek a svařování. [3]

Nízkotlaká větev sacího potrubí bývá spojením mezi čističem vzduchu, upevněným na karoserii, a motorem. Aby se zamezilo přenosu pohybu motoru je nutné začlenit do systému pružný prvek. Z tohoto důvodu se do celkové sestavy začleňuje elastomerový díl s vlnovci. V případě nedostatečně nadimenzovaných vlnovců dochází k protržení v průběhu životnosti vozu. Tato závada může vést k poškození motoru z důvodu nasávání znečištěného vzduchu



z motorového prostoru a dále vede ke snížení výkonu, z důvodu nesprávného signálu váhy vzduchu. [3]

Ke spojení a zajištění těsnosti spoje mezi čističem a vstupem klapky či dmyhadla se používají objímkové spony a VDA konektory. [3]

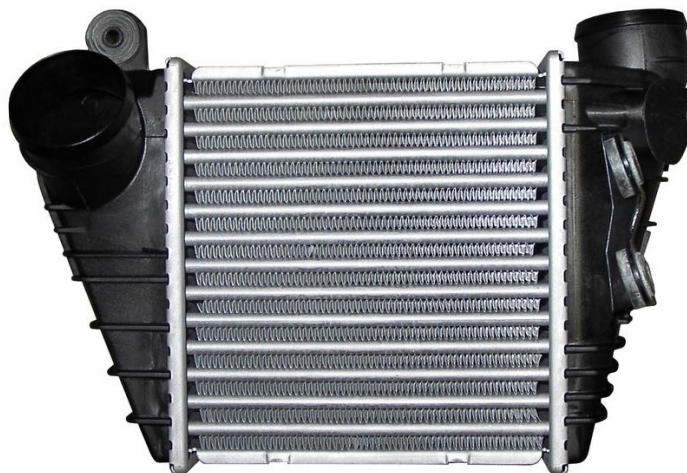
Ve většině případů bývá na čisté potrubí napojeno odvětrání tlakové skříně a je tedy nutné volit materiály odolné vůči motorovému oleji. Dalším materiálovým požadavkem bývá vysoká provozní teplota. Z těchto důvodů mezi nejčastěji užívané materiály patří polyamidy plněné sklem, elastomery AEM/ACM pro díly s malým teplotním namáháním a FKM pro díly s vysokým teplotním namáháním. [3]

#### 1.1.4 Chladič tlakového vzduchu

Stlačením vzduchu v kompresoru dojde ke zvýšení jeho teploty a snížení hustoty. Chladič tlakového vzduchu, též nazývaný mezichladič, toto teplo ze vzduchu odebírá. Ochlazením dochází ke zvýšení hustoty vzduchu a díky tomu se do válců nasává vyšší množství vzduchu, což přispívá ke zvýšení výkonu motoru. Ochlazení vzduchu dále zamezí nebezpečí předčasného vznícení paliva. [7]

Chladiče tlakového vzduchu mohou být samostatný díl, nebo mohou být zakomponované v plnicích kanálech, čímž se ušetří jak na zástavbovém prostoru motoru, tak i na množství použitých dílů. [7]

Mezichladiče se dělí na dva hlavní druhy podle toho, kterému médiu předávají odpadní teplo vzniklé stlačením vzduchu. Prvním druhem je vzduch-vzduch, který předává teplo okolnímu vzduchu a můžeme ho tedy považovat za pasivní. Druhý je aktivní, vzduch-voda, který předává teplo vodě z chladicího okruhu motoru. [7]



Obr. 6 Mezichladič z vozu Škoda Octavia 1.8 T [6]

Mezichladiče se velmi liší velikostí a tvarem v závislosti na motoru. Hlavním materiálem používaným pro výrobu mezichladičů je hliník a jeho slitiny, s možností užití plastů pro vstup a ústí mezichladiče. [7]

### 1.1.5 Plnicí kanály

Hlavní funkcí plnicích kanálů, též nazývaných plnicí manifold, je, co nejrovnoměrněji rozdělit přepravovaný vzduch mezi jednotlivé válce motoru s minimální tlakovou ztrátou. Mezi vedlejší funkce patří zabránit prosáknutí vzduchu, minimalizace šíření hluku a snímání hodnot plnicího vzduchu. [7]

Mezi měřené hodnoty patří tlak a teplota vzduchu. Pomocí těchto hodnot se následně v řídicí jednotce motoru vypočítá množství paliva nutné pro optimální spalování. U atmosférických motorů se obvykle používá pro zjištění množství přepravovaného vzduchu buď váha vzduchu nebo kombinace snímání teploty a tlaku v plnicích kanálech. U přeplňovaných motorů se obvykle používá kombinace obou metod. [7]

Ve dvacátém století se plnicí kanály vyráběly především z hliníku a jeho slitin. Dnes se ale díky zlepšení výrobních technologií a materiálů používá až na výjimky svařovaných termoplastů, jako například polyamidů plněných skelnými vlákny. Pro zajištění těsnosti spoje mezi plnicími kanály, a hlavou motoru se používá axiální těsnění z elastomerů s vysokou teplotní odolností. [7]



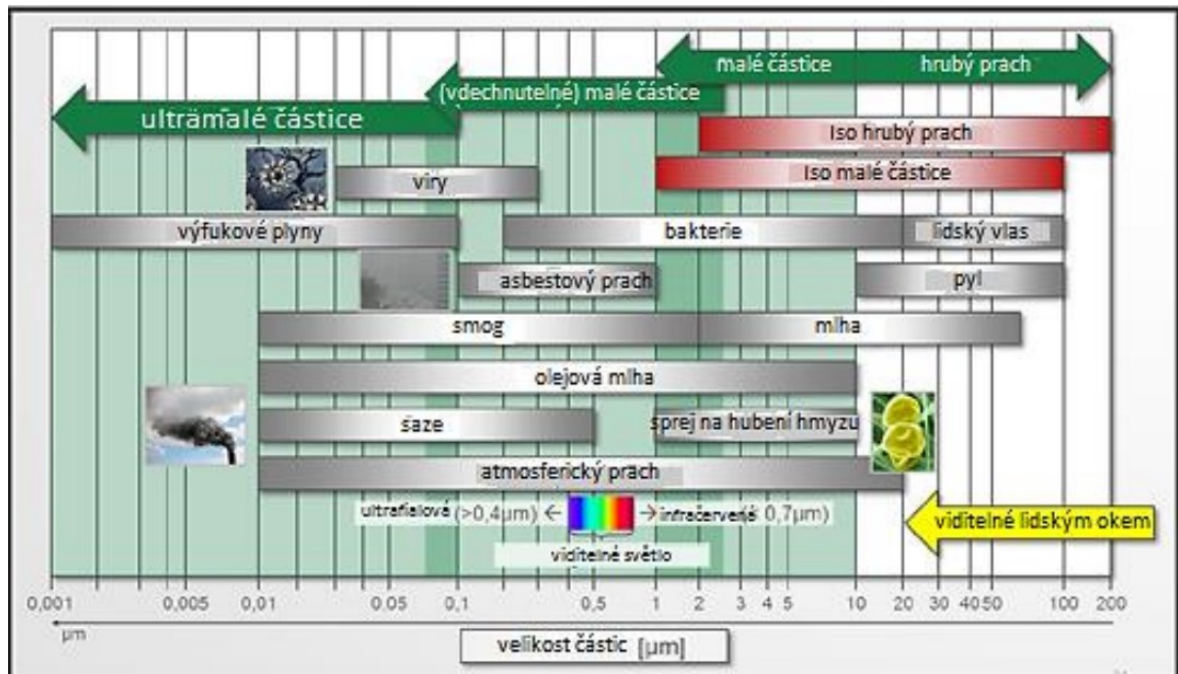
Obr. 7 Plnicí kanály pro motor V8 [8]

## 1.2 Filtrace vzduchu

V dnešní době jsou spalovací motory nejpoužívanějším druhem pohonu vozidla. Spalovací motory potřebují ke svému chodu vzduch, který nasávají z vnějšího prostředí. Takový vzduch je ale znečištěn prachovými částicemi různých velikostí. Aby nedocházelo vlivem abraze k výraznému poškození pohyblivých částí motoru, musí se vzduch, před vstupem do spalovací komory, od těchto částic odfiltrovat. K tomuto účelu slouží vzduchový filtr. Vzduch se z okolí nasává přes vzduchový filtr, kde se prachové částice zachytí a do motoru vstupuje již přefiltrovaný vzduch. Pomocí dnešních technologií filtrem prostupují pouze částice o velikosti 0,001  $\mu\text{m}$  a menší. Tato velikost částic, při běžné koncentraci, nemá výrazný vliv na opotřebení motoru. [5]

Filtrace vzduchu je založena na principu zachycování částic ve vláknité struktuře filtračního média. Prachové částice se mohou zachytávat přímo na vlákna, nebo na již zachycené prachové částice. [5]

Na obrázku č. 8 jsou zobrazeny částice běžně se vyskytující ve vzduchu a jejich velikost v  $\mu\text{m}$ .



Obr. 8 Částic běžně se vyskytující ve vzduchu [5]

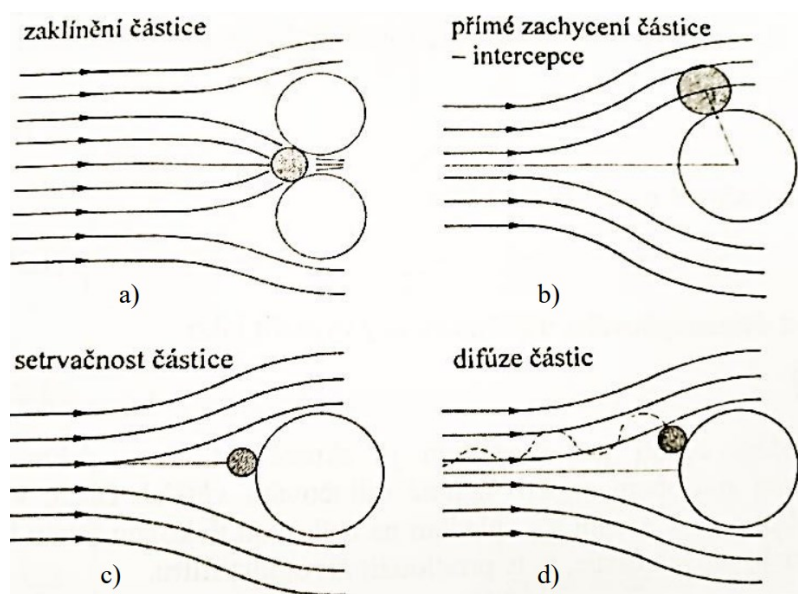
Z obrázku č.8 je patrné, že dnešní vzduchové filtry jsou schopny zachytit většinu částic, běžně se vyskytujících ve vzduchu. Většinou nepřefiltrovaných částic jsou částice výfukových plynů, které dosahují nanorozměrů. [5]

Dnešní vzduchové filtry mají velmi vysokou účinnost. U filtračních elementů tvořených celulóзовými vlákny je filtrační účinnost okolo 99 % a u elementů z nanovláken dosahuje filtrační účinnost téměř 100 %. [3]

Filtrační účinnost se měří pomocí částic s definovanou velikostí a rozměrem a počítá se jako poměr hmotnosti zachycených částic, ke hmotnosti částic před kontaktem s filtračním elementem [3]:

$$\eta = \frac{m_{\text{separované}}}{m_{\text{před filtrem}}} \cdot 100 [\%] \quad (1)$$

Zachycení částic na vlákna filtrační vložky je způsobeno Van der Waalsovými silami, kterými na sebe působí molekuly prachových částic a molekuly vláken. Van der Waalsovy síly jsou slabé interakce, které jsou způsobeny rozložením elektronů molekul. Příčinou je rozdílná elektronegativita prvků, která vytvoří takzvaný dipól. Rozlišujeme čtyři základní mechanismy zachycení částic. [9]



Obr. 9 Mechanismy zachycení částic [9]

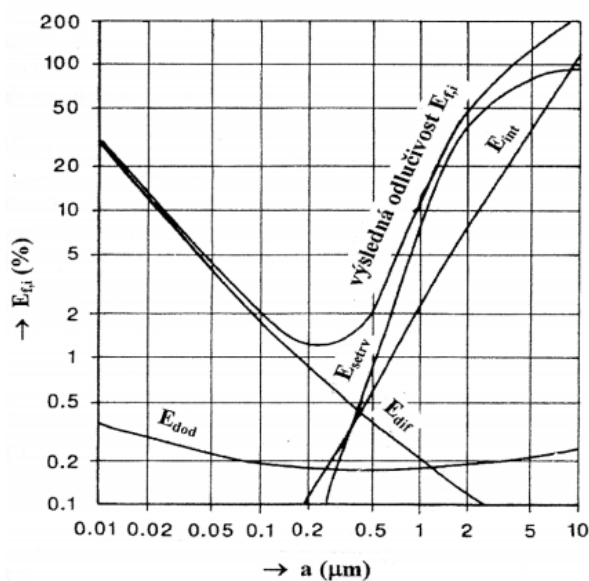
Prvním způsobem zachycení částic je zaklínění (obrázek 9a). Jedná se o velmi jednoduchý způsob separace. Tímto způsobem se zachytávají částice větší, než je mezera mezi vlákny filtračního média. Další částice pak mají znesnadněný průchod a začnou se usazovat ve stejném místě. [9]

Druhým způsobem zachycení je intercepce (obrázek 9b). Jedná se o zachycení částice na povrchu vlákna. Principem se separují pouze částice o malé hmotnosti. Tyto částice se neuvolní setrvační silou, jelikož jejich hmotnost je zanedbatelná. [9]

Setrvačné síly mohou být dalším důvodem zachycení částice vláknem (obrázek 9c). Díky setrvačnosti částice neobteče vlákno s proudem vzduchu, ale pokračuje dále po přímé dráze, kde narazí na vlákno, na kterém ulpí. [9]

Čtvrtým principem zachycení částice je difuze (obrázek 9d). Jedná se o zachycení částic pohybujících se po náhodné trajektorii. Tímto způsobem se separují především menší částice, jelikož mají vyšší tendenci k tomuto pohybu. Jde o přesný opak intercepce, jelikož se při ní zachycují především částice s malou hustotou. [9]

Schopnost vlákna zachytit částice se nazývá frakční odlučivost vlákna a je součtem jednotlivých frakčních odlučivostí částic. Na obrázku č. 10 je zobrazena výsledná frakční odlučivost vlákna o průměru  $d = 4 \mu\text{m}$  o rychlosti proudění  $v_\varepsilon = 0,2 \text{ m/s}$ , kde veličina  $a[\mu\text{m}]$  znázorňuje velikost odlučovaných částic a veličina  $E[\%]$  znázorňuje odlučivost. [9]



Obr. 10 Výsledná frakční odlučivost vlákna [9]

Průchod přes filtrační vložku způsobuje tlakovou ztrátu, která se zvyšuje množstvím usazených částic. Účinnost filtru se množstvím usazených částic zvyšuje. Po montáži filtračního elementu do vozidla je nutné, aby se v něm usadilo určité množství částic, než dosáhne optimální filtrační účinnosti. Příliš častá výměna filtrů je z tohoto důvodu pro životnost motoru kontraproduktivní a je ideální dodržovat servisní interval předepsaný výrobcem filtru. [3]



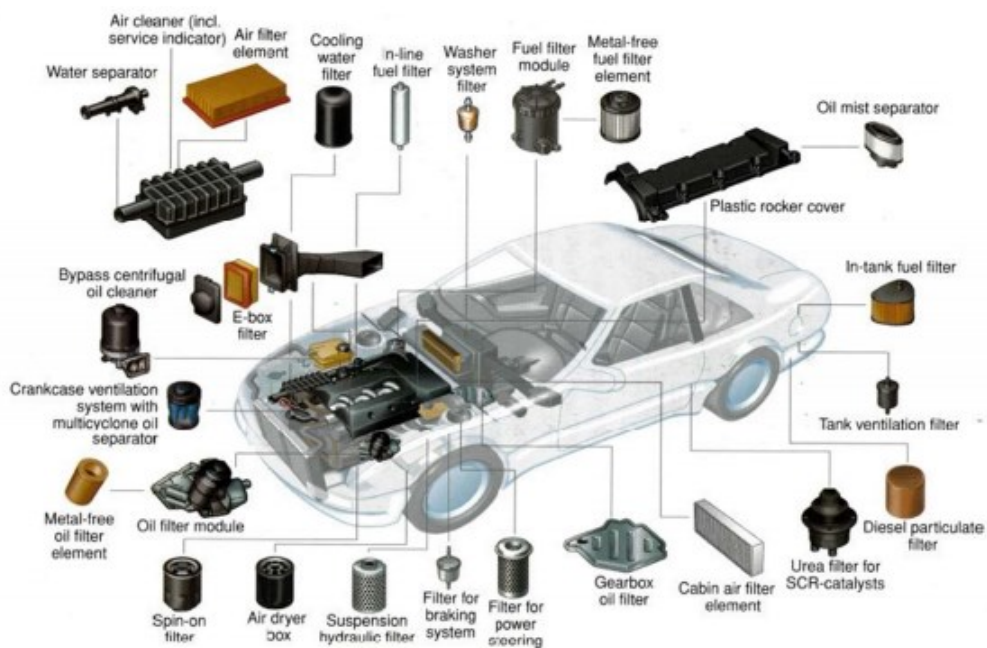
### 1.2.1 Vzduchový filtr

Vzduchový filtr je díl sloužící k filtraci nasávaného vzduchu. V historii se k tomuto účelu používala plechová nádoba naplněná bavlnou. Dnes se ale z důvodu vyšších požadavků na filtrační účinnost a kapacitu používají filtry vyráběné z celulózových, syntetických vláken a nanovláken. Pro maximalizaci filtrační plochy vzduchové filtry navrhují ze skládaného filtračního média. [3]

Vzduchové filtry bývají v běžném případě uloženy ve skříni čističe vzduchu a jejich součástí bývá těsnění z polyuretanové pěny, které zajišťuje oddělení čisté a špinavé strany sání. Toto těsnění vytváří v různých tvarových provedeních a bývá jedním z hlavních patentových řešení celého systému. [3]

### 1.2.2 Další druhy automobilových filtrů

Filtrace zajišťuje, aby bylo možno dodržet neustále se zpřísňující legislativu na ochranu prostředí, zvyšující požadavky na komfort posádky vozidla a zajištění správné funkce dnešních velmi komplexních motorů. Zatímco první automobily obsahovaly pouze primitivní olejový filtr, následovaný vzduchovým filtrem z bavlny v kovové nádobě, v dnešních motorech se používá velká řada různých filtrů, zajišťujících bezproblémovou funkčnost po celou životnost vozu. Na obrázku č. 9 je možné vidět vyobrazení jednotlivých filtrů, separátorů a čističů. [5]

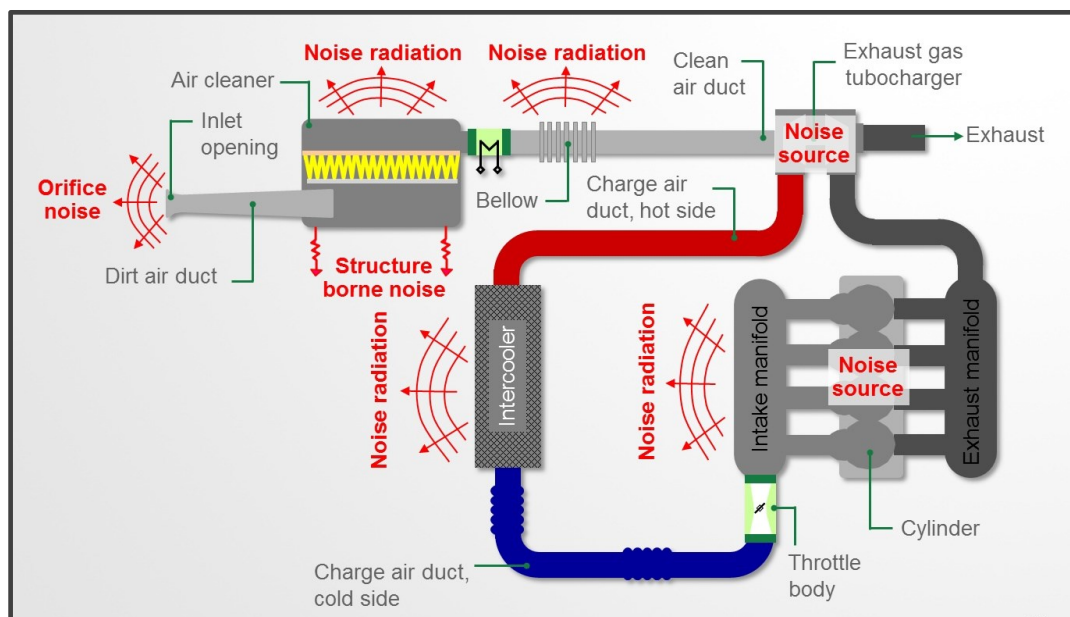


Obr. 11 Přehled filtrů v automobilu [5]

Na první pohled je vidět, že se jednotlivé aplikace filtrace velmi liší ve zpracování a veškeré díly musí být navrženy specificky pro zamýšlenou funkci a vozidlo. Spousta dnes navrhovaných dílů již nezastává pouze jednu specifickou funkci, ale je sofistikovaným spojením mnoha mechanismů tvořících jeden celek. Příkladem může být systém filtrace motorového oleje, který filtruje olej od pevných částic, separuje vodu a v neposlední řadě přehřívá olej při chladných startech. [5]

### 1.3 Akustika sacích systémů

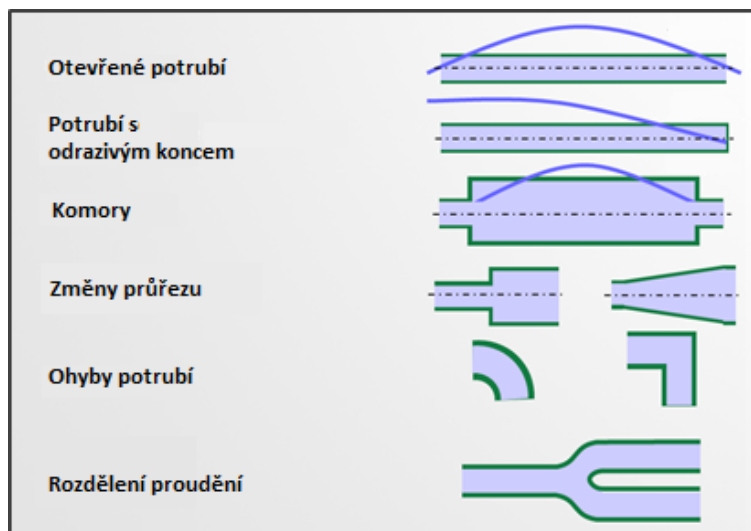
Kromě filtrace a vedení vzduchu je akustika vozu další velmi podstatnou funkcí sacích systémů. U spalovacích motorů vznikají prudké změny tlaku (pulzace) a toto vytváří zvukové vlny unikající ze spalovací komory. U přepřňovaných motorů vzniká další hluk v dmychadle. Množství hluku přenášeného sacím systémem je srovnatelný s množstvím přenášeným výfukovým systémem. Tento hluk je nutné tlumit, z důvodu hlukových limitů osobních automobilů definovaných směrnici UN-ECE R51. [3]



Obr. 12 Zdroje a šíření hluku sacím systémem [3]

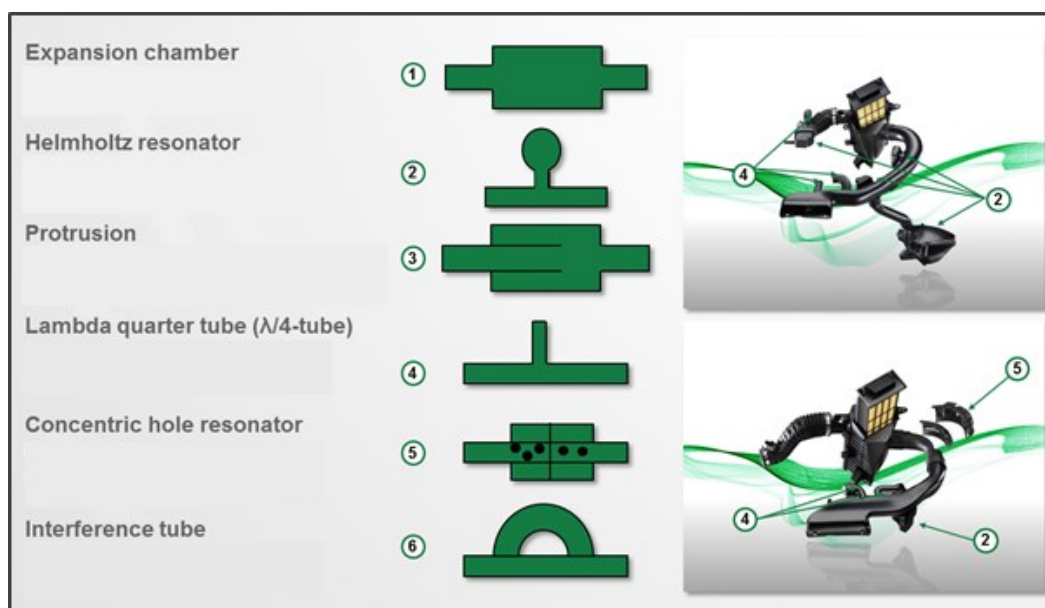
Pro snížení množství vyzařovaného hluku se snažíme dosáhnout co nejvyšší dynamické tuhosti dílů. Ke zvýšení tlumícího účinku a tím ke snížení hluku unikajícího ústím sacího systému přispívá objem čističe, co největší délka potrubí a co nejmenší průřez. Toto je v přímém rozporu s požadavky na co nejmenší tlakovou ztrátu celého systému a z toho důvodu je nutné najít ideální kompromis. [3]

Pokud není možné dosáhnout dostatečného tlumícího efektu optimalizací průřezů a délky sacího systému, musí se do systému přidat další tlumící geometrie, případně se musí přidat dodatečné tlumící díly. [3]



Obr. 13 Akusticky účinné geometrie [3]

Na obrázku č. 11 je možné vidět ukázky jednotlivých tlumících geometrií. První tři vyobrazené geometrie způsobují odrazy zvukových vln podél stěn, což způsobuje rezonance, které snižují energii vedeného zvuku. Náhlé změny průřezu a ohyby vytváří odrazovou plochu pro vlny, a to též vede k rezonancím. Rozdělení proudění vede zároveň k rozdělení zvukových vln a tím i energie. Jelikož množství a frekvence odražených vln se liší geometrií a rozměry jednotlivých prvků, je často nutné zkombinovat více druhů pro pokrytí většího spektra frekvencí. [3]



Obr. 14 Příklady druhů rezonátorů a jejich umístění [3]



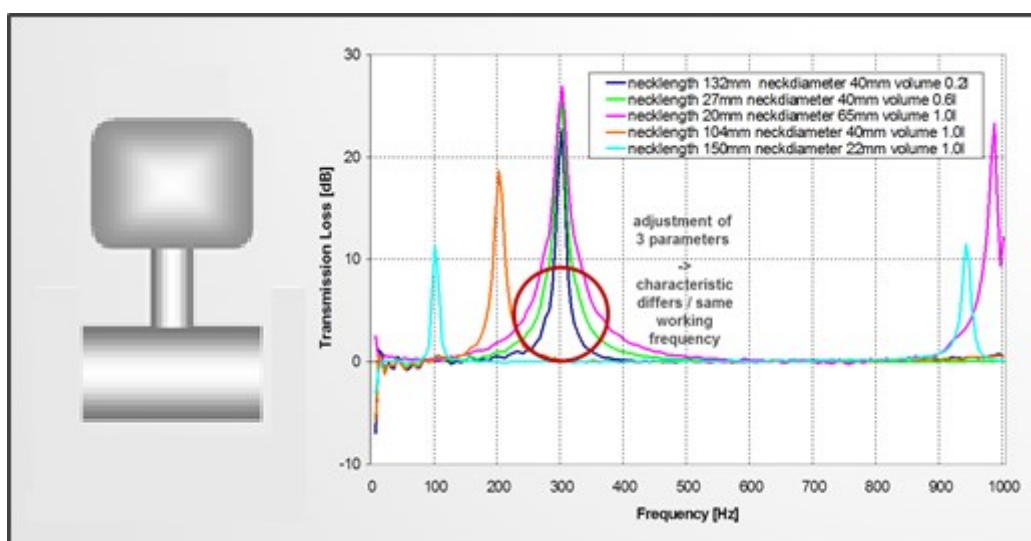
Prvním vyobrazeným rezonátorem na obrázku č. 12 je expanzní komora. Jedná se o lokální rozšíření objemu a používá se pro nízké až střední frekvence. Dalším rezonátorem je Hemholtzův rezonátor, který je tvořen komorou spojenou s hlavním potrubím úzkým krčkem a používá se pro nízké až střední frekvence. Třetím typem rezonátoru je protruze. Má vysoký tlumicí účinek a používá se pro střední frekvence. Čtvrtým vyobrazeným typem je  $\lambda/4$  trubka používaná pro střední a vysoké frekvence. Pátý typ rezonátoru je komora obalující děrované potrubí, který tlumí vysoké frekvence. Posledním vyobrazeným rezonátorem je obtoková trubka, která se používá pro tlumení vysokých frekvencí. [3]

Při navrhování jednotlivých rezonátorů je nutné je nadimenzovat na určitou frekvenci, která je třeba utlumit. Například tlumicí frekvence Hemholtzova rezonátoru se určuje pomocí vztahu (2):

$$f_{res} = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{l \cdot V}} \quad (2)$$

Kde  $f_{res}$  [Hz] je rezonanční frekvence,  $c$  [m/s] je rychlost zvuku,  $S$  [m<sup>2</sup>] je průřez spojovacího krčku,  $l$  [m] je délka krčku a  $V$  [m<sup>3</sup>] je objem rezonanční komory. [3]

Při navrhování pozice rezonátorů je třeba dbát na několik zásadních pravidel. Expanzní komora, obtoková trubka a děrované potrubí s komorou by měly být umístěny co nejbližší zdroji hluku. Pro ostatní rezonátory je ideální umístění v 1/3, či 2/3 délky sacího systému. [3]



Obr. 15 Rozdílné návrhy Hemholtzova rezonátoru a graf jejich tlumících frekvencí [3]

## 2 POUŽÍVANÉ TECHNOLOGIE A MATERIÁLY

Díly sacích systémů jsou z drtivé většiny vyráběny z polymerů, některé části jsou však vyráběny z různých kovů. Mezi takové díly patří například spony, pouzdra pro šrouby, či tepelné štíty. Dříve byly z kovů vyráběny i plnicí kanály, a to především odléváním hliníku. Od tohoto postupu se však z ekonomických, ale i technických důvodů upustilo a dnes se převážně vyrábí z termoplastů. [3]



*Obr. 16 Hliníkové plnicí kanály [11]*

Jednotlivé díly sacích systémů bývají vystaveny zcela rozdílným podmínkám a namáháním. Při volbě materiálu musí mít tedy konstruktér na mysli jak mechanické, tak i chemické vlastnosti materiálu. [3]

### 2.1 Vstřikování

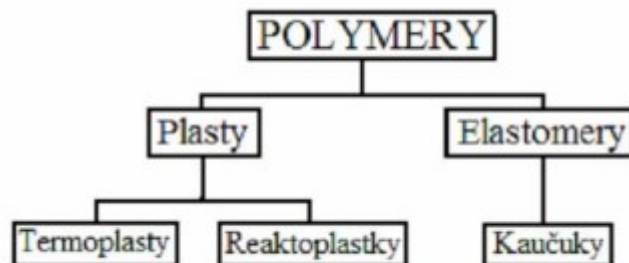
Vstřikování je nejrozšířenější metodou zpracování polymerů, a i u sacích systémů je většina dílů vyrobena touto technologií. Vstřikování je způsob tváření polymerů, při kterém je zplastikovaný materiál vstříknut pomocí šneku nebo pístu do uzavřené dutiny formy. Plastikace materiálu probíhá v plastikační jednotce, která bývá součástí vstřikovacího stroje. [3] [12]

Touto metodou lze zpracovávat termoplasty, reaktoplasty i elastomery. Avšak použití reaktoplastů v sacích systémech je velmi vzácné. Zatímco doba tváření termoplastů je teoreticky neomezená u elastomerů a reaktoplastů je omezená, z důvodu probíhajícího síťování. [12]

Kvalitu finálních výlisků ovlivňuje mnoho technologických proměnných. Mezi tyto faktory patří například teplota taveniny, plnicí tlak, rychlost vstřikování, dotlak a teplota formy. Obecným trendem je snaha o dosažení co nejpřesnějších dílů. [13]

### 2.1.1 Základní rozdělení polymerů

Polymer jsou látky tvořené makromolekulami. Dělíme je na elastomery a plasty, které dále dělíme na termoplasty a reaktoplasty. [12]



Obr. 17 Základní dělení polymerů [12]

#### 2.1.1.1 Termoplasty

Termoplasty jsou polymery, které jsou schopny působením tepla měnit skupenství. Při zahřívání je dochází ke změně z pevného skupenství na kapalné a při ochlazení zase naopak. Tato změna má pouze fyzikální charakter a nedochází při ní k chemické reakci. Je proto vratná a lze teoreticky opakovat do nekonečna. Podle vnitřního uspořádání je dělíme na amorfní a semikrystalické. [14]

#### 2.1.1.2 Reaktoplasty

Reaktoplasty jsou zpracovatelné, pouze určitou dobu po zahřátí. Při dalším zahřátí, nebo pomocí katalyzátorů, dochází k chemickým změnám, které se nazývají vytvrzování. Při těchto reakcích dochází k sesítování molekul a jedná se o nevratný proces. Reaktoplasty jsou amorfní polymery a vyznačují se vysokou tepelnou a chemickou odolností. [14]

#### 2.1.1.3 Elastomery

Elastomery jsou vysoce pružné materiály s nízkou tuhostí. Za běžných podmínek je lze relativně malou silou značně deformovat bez trvalého poškození. V průběhu výroby se musí, tak jako reaktoplasty, sesítovat. Tato reakce se nazývá vulkanizace. Na rozdíl od reaktoplastů se řetězce volně pohybovat kolem svých spojů, což zajišťuje pružnost elastomerů. Jedná se o amorfní polymer. [13] [14]



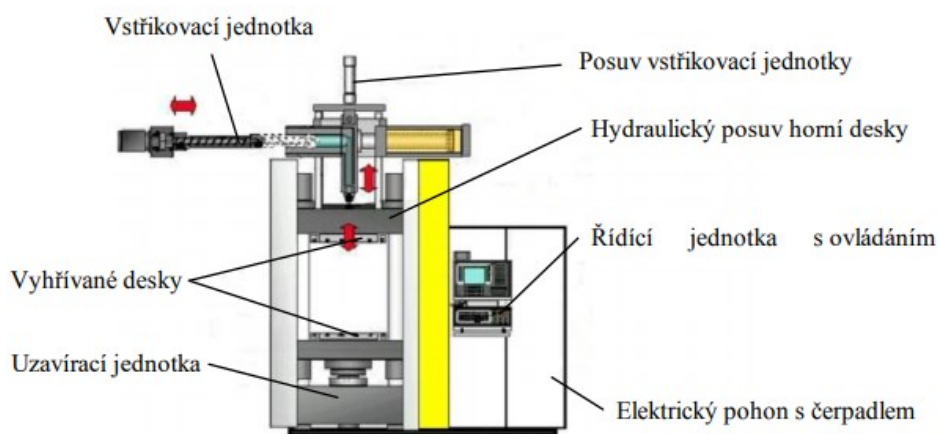
Obr. 18 Chování polymerů při zatížení: plast (vlevo), elastomer (vpravo) [14]

#### 2.1.1.4 Termoplastické elastomery

Jedná se o materiály kombinující vlastnosti elastomerů a termoplastů. Jejich struktura je tvořena tvrdými segmenty z termoplastů a měkkými segmenty z elastomerů. Při zvyšování teploty, na rozdíl od elastomerů, přechází do tekutého stavu a lze je tedy zpracovávat stejnou metodou jako termoplasty. Jejich struktura je stejně jako u elastomerů zesíťovaná, avšak uzly sítě nejsou chemické povahy, ale fyzikální. Termoplastické elastomery sice nedosahují tako elasticity jako elastomery, za to je ale možné je zpracovávat na běžných vstřikovacích strojích. Přítomnost termoplastů ve struktuře také zajišťuje svařitelnost s některými druhy termoplastů. Příkladem spolu svařitelných polymerů je Santoprene (PP+EPDM) s polypropylenem (PP). [3] [14]

#### 2.1.2 Vstřikovací stroje

Ke vstřikování se používají vstřikovací stroje, které většinou bývají pro dosažení vysoké produktivity práce zcela automatické. Z hlediska pohonu bývají hydraulické, elektrické nebo hybridní. Vstřikovací stroje se skládají ze dvou zcela nezávislých jednotek, vstřikovací a uzavírací, které jsou řízeny řídicí jednotkou. [12] [14]



Obr. 19 Schéma vertikálního vstřikovacího stroje [12]

Vstřikovací jednotka zajišťuje plastikaci, dopravu materiálu a dotlak taveniny. Uzavírací jednotka zajišťuje držení, otevírání a zavírání formy. Základní parametry vstřikovacích strojů patří:

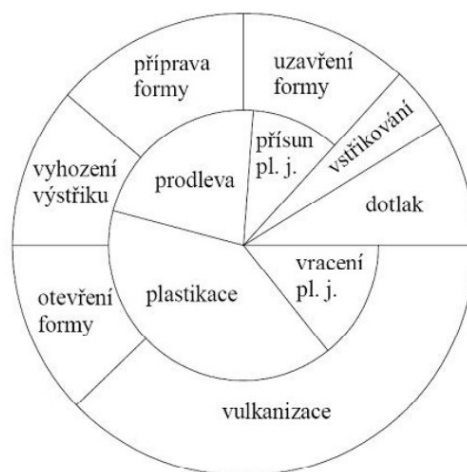
- Vstřikovací kapacita [ $\text{cm}^3$ ] (objem taveniny, který je stroj vstříknout na jeden zdvih)
- Plastičnická kapacita [ $\text{kg/hod}$ ] (množství plastu za čas, který je stroj schopen zplastikovat)
- Uzavírací síla [ $\text{kN}$ ] (síla, která drží formu v uzavřeném stavu)

[14]

### 2.1.3 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací se skládá ze dvou oblastí, jedna probíhá v plastičnické jednotce a druhá ve formě. Tímto je možné docílit poměrně vysoké produktivity při zpracování plastových a elastomerních směsí. Vstřikovací cyklus v čase je popsán v následujícím obrázku:

[12]



Obr. 20 Vstřikovací cyklus elastomerů [12]

Vstřikovací cyklus pro termo plasty je velmi podobný, pouze se nahradí vulkanizační fáze chladicí fází. Tento cyklus lze také popsat dle stavových termodynamických veličin. [14]

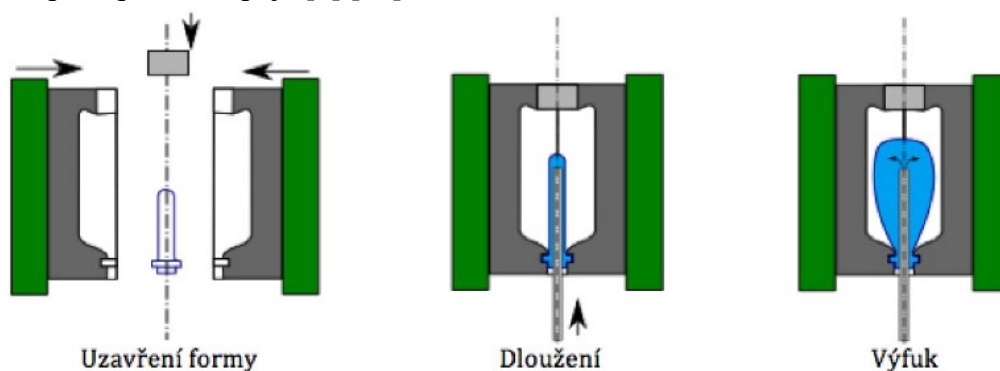
### 2.1.4 Zastřikování

Zastřikování je zvláštní druh vstřikování, při kterém je do dutiny formy, před vstříknutím taveniny, vložen již hotový díl, který se následně plně či částečně zastříkne taveninou. Touto metodou je možné vyrábět kompozitní, či jinak nevyrobitelné díly. [3]

## 2.2 Vyfukování plastů

Vyfukování je výrobní postup, při kterém je termoplast tvarován ve vyfukovací formě tlakem vzduchu do tvaru otevřeného nebo uzavřeného tělesa. Termoplast musí být zahřát do visko-elastického stavu, kdy je materiál dostatečně tvarovatelný, ale zároveň si zachovává dostatečnou soudržnost. Vyfukováním je používán pro výrobu dutých dílů jako jsou lahve, nádrže a podobné duté díly. [15]

Jako zdroj materiálu se používá buď vstříkovaných polotovarů, nebo extrudovaného vlákna, které se následně odřízne a přes vyfukovací trn přetlakem vzduchu nafoukne do požadovaného tvaru. Při použití předlisku je třeba polotovar nejdříve nahřát plamenem, nebo UV zářičem a následně se opět tlakovým vzduchem vyfoukne do požadovaného tvaru. U tvarově jednoduchých dílů jako jsou PET lahve je tento proces velmi produktivní a prakticky bezodpadový. Nicméně u tvarově složitých dílů jako je třeba potrubí sacích systémů je odpadovost a zmetkovitost velmi vysoká, což proces činí ekonomicky a ekologicky nevýhodný. Z tohoto důvodu se od této technologie, pro aplikaci nízkotlakého potrubí sacích systémů, postupně odstupuje.[3] [15]



Obr. 21 Schéma výroby lahve z předlisku [15]

## 2.3 Svařování plastů

Svařování plastů je technologie trvalého spojování jednotlivých dílů. V automobilovém průmyslu se téměř výhradně používá svařování bez přidaného materiálu. Základní princip spočívá v roztavení styčných ploch dílů a jejich spojení působením tlaku. Ze základního principu technologie vyplývá, že lze použít pouze pro termoplasty a termoplastické elastomery. Jednotlivé metody svařování se dělí především podle zdroje tepla používaného pro natavení styčných ploch. [3]

Následující příklady uvádí pouze nejběžnější metody svařování plastů používané v automobilovém průmyslu:

- A. Svařování s externím ohřevem
  - a. energie dodaná prouděním: např. svařování horkým plynem
  - b. energie dodaná vedením: např. svařování horkým kontaktním tělesem
  - c. energie dodaná zářením: např. infračervené svařování, svařování laserem, bezkontaktní horké těleso
- B. Svařování s interním ohřevem
  - a. mechanicky
    - i. vnějším třením: např. rotační svařování, vibrační svařování
    - ii. vnitřním třením: např. svařování ultrazvukem
  - b. elektromagneticky

### 2.3.1 Vibrační svařování

Vibrační svařování používá k natavení spoje vibrací. Princip této metody spočívá v přitlačení dvou chladných dílů a jejich vzájemné vibraci o frekvencích 100-300 Hz a amplitudě v řádech nižších jednotek milimetrů. V průběhu vibrace je nutné zajistit konstantní přitlak. Nevýhodou této metody je tvorba prachových částic a otřepů, které znečišťují díl. Pokud je pro svařenec požadovaná vysoká čistota je nutné zajistit odsávání, případně následné omytí dílů. [3]

### 2.3.2 Rotační svařování

Rotační svařování používá jako zdroj tepla tření dvou proti sobě rotujících dílů. Metoda je principiálně velmi podobná vibračnímu svařování s tím rozdílem, že lze svařovat pouze rotační díly s plochou a k ose rotace kolmou svařovací geometrií. [3]

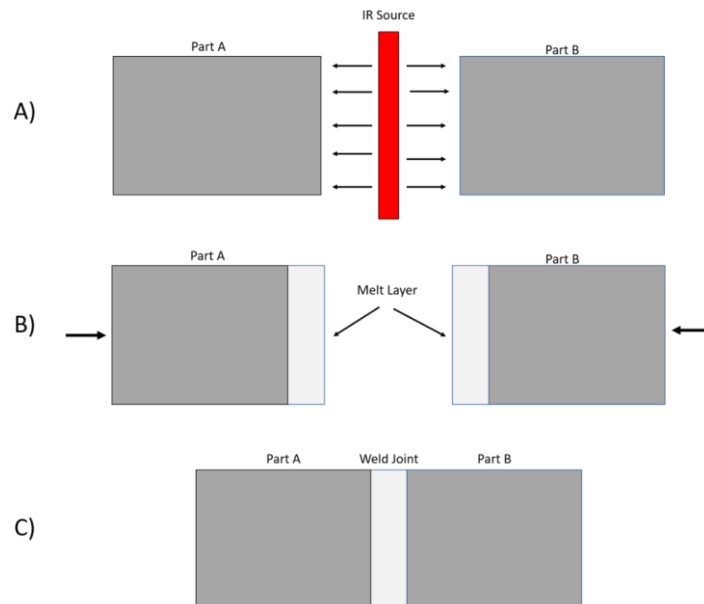
### 2.3.3 Svařování horkým plynem

Tato metoda svařování používá jako zdroj tepla horký inertní plyn, který je na svár foukán speciálně navrženým svařovacím přípravkem. Výhodou této metody je takřka nulové znečištění dílů a svařitelnost velmi složitých geometrií. Nevýhodou je vysoká cena svařovacího přípravku. [3]

### 2.3.4 Svařování infračerveným zářením

Tato metoda nahřívá svařovací geometrii pomocí infračerveného záření, vyzařovaného speciálně navrženým zářičem kopírujícím tvar svařovací geometrie. Díly se zvlášť nahřejí a

následně přitlačí. Výhodou této metody je její čistota. Nevýhodou je vysoká cena svařovacího přípravku. [3]



Obr. 22 Princip IR svařování [16]

### 2.3.5 Svařování ultrazvukem

Při této metodě se k nahřívání používá ultrazvukových vln, které proti sobě rozvibrují svařované díly o frekvenci 15-40 kHz. Hlavní výhodou je velmi vysoká rychlost nahřátí materiálu a možnost svařování i velmi malých dílů. Nevýhodou je vysoká cena a používá se tedy pouze pro velké série. [3]

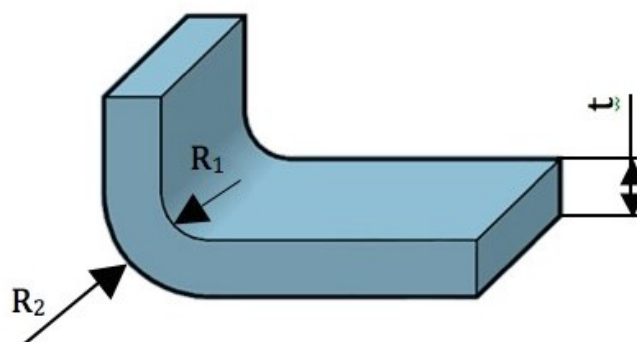


### 3 KONSTRUKČNÍ NÁVRH VSTŘIKOVANÝCH DÍLŮ

Při navrhování vstřikovaných dílů musíme mít na paměti směr odformování dílu, polohu dělicí roviny, vtoků, vyhazovačů a temperačních kanálů. Při návrhu dílu se pokoušíme dosáhnout co nejjednoduššího způsobu odformování, tedy bez nutnosti použití sliderů, lifterů atp., které by pouze prodražili pořizovací cenu formy a tím i následného výrobku, čímž by se snížila jeho konkurenceschopnost. Avšak funkčnost dílu musí být vždy na prvním místě. [3]

#### 3.1 TLOUŠŤKA STĚN

Tloušťka stěn se volí co nejnižší s ohledem na funkčnost dílu a jeho mechanickou tuhost, neměla by však být nižší než 0,8 milimetru z důvodu správného zatečení materiálu. Tato hodnota se může lišit dle použitého materiálu a jeho zatékavosti. Co nejtenčí stěna je žádoucí, z důvodu zkrácení vstřikovacího cyklu, snížení množství použitého materiálu a omezení vzniku staženin a propadlin. Při návrhu je nutné vyvarovat se nekonzistentním tloušťkám stěn, které by vedly k nerovnoměrnému chladnutí, a to by způsobilo prnutí a deformace. V místech, kde dochází ke změně směru stěny, se do návrhu zapracovává zaoblení hran. Zaoblení zabrání akumulaci materiálu v místě přechodu, sníží se hydraulický odpor toku taveniny a zvýší se mechanická tuhost výsledného výlisku. Je vhodné navrhnout zaoblení tak, aby vnější rádius byl součtem tloušťky stěny a vnitřního rádiusu, což zajistí konstantní tloušťku stěny. Vhodně navržené zaoblení je vyobrazeno na obrázku č. 21 [10]



Obr. 23 Zaoblení hrany [10]

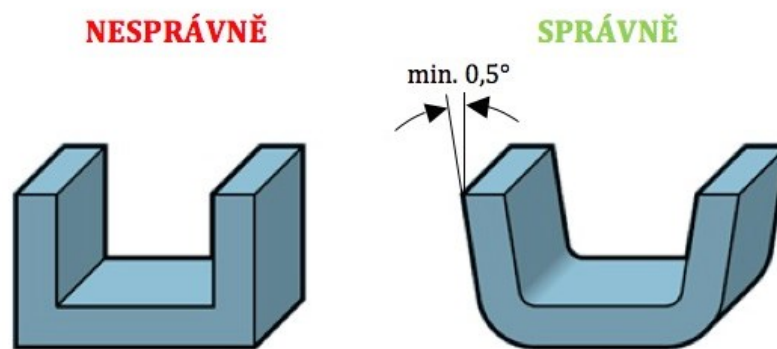
#### 3.2 ŽEBROVÁNÍ

Žebra můžeme dle funkce dělit na žebra technologická a žebra technická. Jedná se o velmi podstatný prvek vstřikovaných dílů. Žebra technologická se do návrhu začleňují pro zlepšení toku taveniny formou, zabránění vzniku povrchových vad, nebo aby zabránily borcení stěn.

Technická žebra se do návrhu zapracovávají, pokud je třeba zvýšit pevnost, odolnost, mechanickou, či dynamickou tuhost, a to při malém zvýšení hmotnosti výrobku. Žebra se obvykle navrhují s o 30-50 % menší tloušťkou, než je o tloušťka stěny, na kterou navazují. V místě napojení více žebel může docházet k akumulaci materiálu a je proto navrhnut žebrování tak, aby se tomuto problému předešlo. [10]

### 3.3 ÚKOSY

Úkosy zajišťují jednoduché vyhození dílu a zvyšují životnost formy. Je nutné zaimplementovat úkosy na všechny stěny rovnoběžné s hlavním směrem odformování. Standardním úkosem bývá  $1^\circ$  a většina materiálů má minimální úkos  $0,5^\circ$ . Menší úhel úkosu zvyšuje riziko poškození dílu při odformování. Na obrázku č. 22 je vyobrazeno správné navržení úkosů. [10]



Obr. 24 Návrh úkosů [10]

### 3.4 PŘESNOST VSTŘIKOVANÝCH DÍLŮ

Rozměry uvedené na výrobním výkrese jsou pouze teoretické. V průběhu výroby vznikají nepřesnosti dané technologií, výrobou samotnou a lidským faktorem. Z tohoto důvodu na výkrese uvádíme tolerance rozměrů, aby se určilo, v jakých mezích je přípustné, aby se výrobek pohyboval. Toto rozmezí nazýváme toleranční pole. Čím užší je toleranční pole, tím je finální výrobek přesnější. Konstruktor proto musí zvolit optimální rozsah tolerance, kdy bere v potaz funkčnost, možnosti použité technologie a cenu dílu. Mezi faktory ovlivňující přesnost výlisku patří technologické parametry procesu, přesnost vstřikovací formy, použité materiály, tvar výlisku a podmínky okolního prostředí. V praxi často dochází k předepisování zbytečně úzkých tolerančních polí, což zvyšuje náročnost výrobního procesu a tím i konečnou cenu výlisku. [10]

O tolerancích rozměrů vstřikovaných dílů pojednává norma DIN 16901. Proces tolerování rozměrů je v této normě velmi detailně a přesně popsán. Podle typu plastu a potřebné přesnosti se zvolí třída přesnosti (dle Tab. 1) a následně dle tolerovaného rozměru se zvolí tolerance (dle Tab. 2). [10]

TYP PLASTU	TŘÍDA PŘESNOSTI		
	obecná	přesná	velmi přesná
ABS	130	120	110
PA	130	120	110
PA6	140	130	120
PA6.6	140	130	120
PBT	140	130	120
PC	130	120	110
PE	150	140	130
PMMA	130	120	110
POM (délka do 150 mm)	140	130	120
POM (délka nad 150 mm)	150	140	130
PP	150	140	130
PS	130	120	110
SAN	130	120	110

Tab. 1 hospodárně dosažitelné třídy přesnosti dle DIN 16901 [10]

TŘÍDA PŘESNOSTI	TYP ROZMĚRU	NOMINÁLNÍ ROZMĚR										
		0-1	1-3	3-6	6-10	10-15	15-22	22-30	30-40	40-53	53-70	70-90
extra přesné	A	0,10	0,12	0,14	0,16	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,31	0,35
	B	0,05	0,06	0,07	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,21	0,25
110	A	0,18	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30	0,32	0,36	0,40	0,44
	B	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,26	0,30	0,34
120	A	0,32	0,34	0,36	0,38	0,40	0,42	0,46	0,50	0,56	0,60	0,68
	B	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,26	0,30	0,36	0,40	0,48
130	A	0,36	0,38	0,40	0,42	0,46	0,50	0,54	0,60	0,68	0,76	0,88
	B	0,16	0,18	0,20	0,22	0,26	0,30	0,34	0,40	0,48	0,56	0,68
140	A	0,40	0,42	0,44	0,48	0,54	0,60	0,68	0,76	0,86	1,00	1,20
	B	0,20	0,22	0,24	0,28	0,34	0,40	0,48	0,56	0,66	0,80	1,00
150	A	0,46	0,50	0,54	0,60	0,68	0,76	0,86	0,98	1,14	1,36	1,62
	B	0,26	0,30	0,34	0,40	0,48	0,56	0,66	0,78	0,94	1,16	1,42
160	A	0,56	0,60	0,66	0,74	0,84	0,98	1,14	1,32	1,56	1,88	2,30
	B	0,36	0,40	0,46	0,54	0,64	0,78	0,94	1,12	1,32	1,68	2,10

Tab. 2 Tolerance rozměrů plastových vstřikovaných dílů dle DIN 16901 [10]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Pro tuto práci jsou stanoveny cíle:

- 1) Vypracovat literární studii na téma sacích systémů.
- 2) Provést konstrukční řešení nízkotlaké větve sání.
- 3) Zhotovit výkresovou dokumentaci.
- 4) Zhodnotit konstrukční variantu návrhu

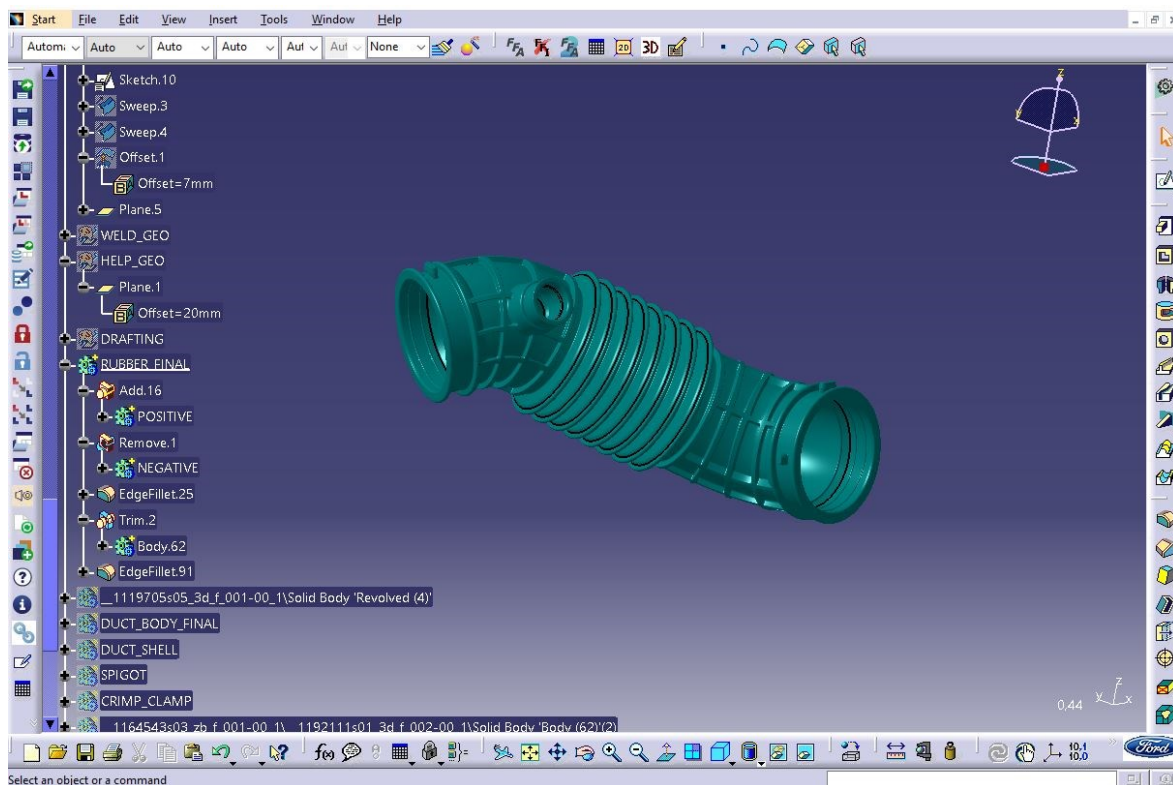
Teoretická část byla rozdělena do tří okruhů, pojednávajících o problematice sacích systémů a jejich navrhování. První část pojednává o teorii sacích systémů, jejich částech, teorii filtrace vzduchu a akustice systému. Druhá část pojednává o technologiích a materiálech používaných při výrobě sacích systémů. Poslední okruh teoretické části se zabývá základy navrhování vstřikovaných dílů.

Praktická část práce pojednává o návrhu čisté strany nízkotlaké větve sacího systému. V praktické části práce byl zhotoven alternativní design existujícího dílu používaného pro motory TIGERSHARK 2.4L. Pro vyhotovení 3D modelů a výkresové dokumentace bylo užito 3D modelovací systém CATIA V5 R26 od společnosti Dassault Systèmes. V závěru praktické části byl porovnán alternativní návrh s existujícím řešením simulací proudění. Pro simulaci proudění byl použit preprocesor ANSA od společnosti BETA CAE Systems a pro výpočet byl použit software Simcenter STAR-CCM+ od společnosti Siemens.

## 5 POUŽITÝ SOFTWARE

### 5.1 CATIA V5

CATIA je software podporující vytváření interaktivních 3D modelů. Vývoj systému začal roku 1977 ve francouzské firmě Avions Marcel Dassault pro vlastní potřebu. Roku 1981 se software dočkal komerčního prodeje a v roce 1988 jej začala užívat společnost Boeing. V roce 1998 vyšla verze 5 a dodnes zůstává nejpoužívanějším CAx aplikací v automobilovém průmyslu. Mezi další oblasti s širokým užitím patří letecký a lodní průmysl. Mezi hlavní výhody softwaru CATIA patří velmi dobrá modifikovatelnost návrhů, možnost návrhu složitých tvarových ploch, katalogů s normalizovanými díly a možnost provádět analýzy. Alternativou systému CATIA je například software NX od společnosti Siemens.



Obr. 25 Rozhraní softwaru CATIA V5

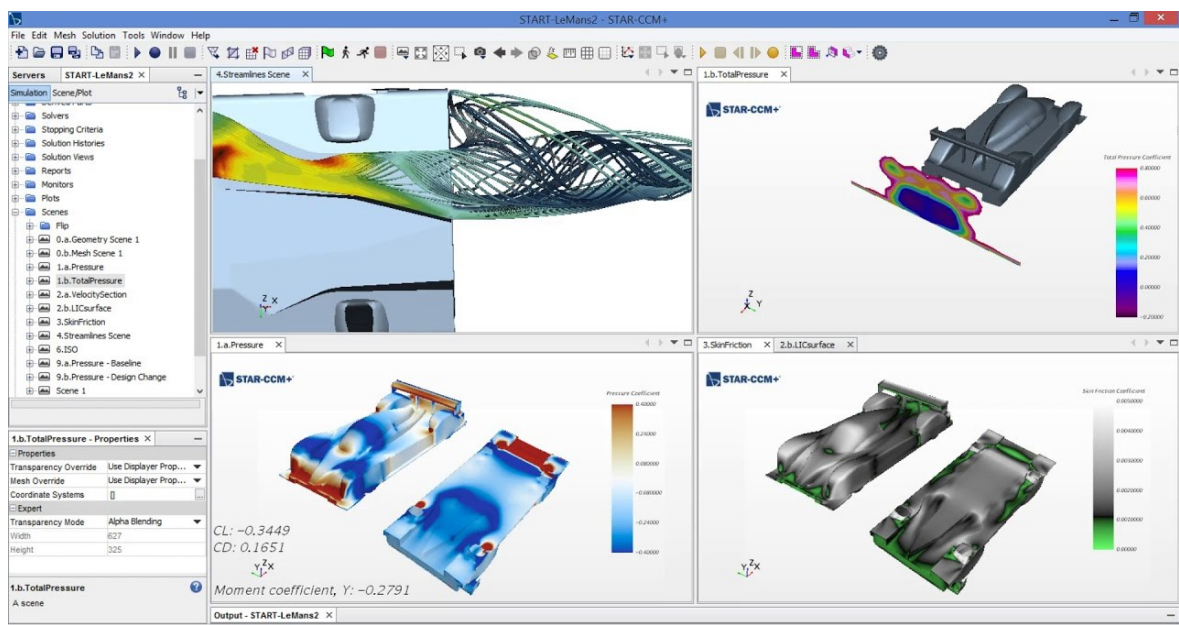
### 5.2 ANSA

ANSA je CAE nástroj pro FEA a CFD analýzy vytvořený společností BETA CAE Systems. Tento nástroj je široce používán v automobilovém průmyslu jako preprocesor pro celou řadu simulací. Jako vstup používá CAD modely vytvořené v programech jako je například

CATIA V5. Jeho hlavní funkce je vyčištění modelu od nepotřebných prvků, opravení případných vad v analyzovaných plochách, porovnání modelů a vytvoření sítě konečných prvků, používaných pro matematický výpočet.

### 5.3 Simcenter STAR-CCM+

Simcenter STAR-CCM+ je kompletní multifyzikální výpočetní software vytvořený společností Siemens. Simcenter STAR-CCM+ je předním řešením pro CFD (počítačová dynamika tekutin) simulace, které zahrnují proudění kapalin, plynů i vícefázové proudění. V Simcenter STAR-CCM+ lze simulovat například aero akustika, dynamika proudění, vícefázové proudění, proudění částic, či reakční proudění. Hlavní oblastí použití je jaderný, automobilový, letecký a lodní průmysl.

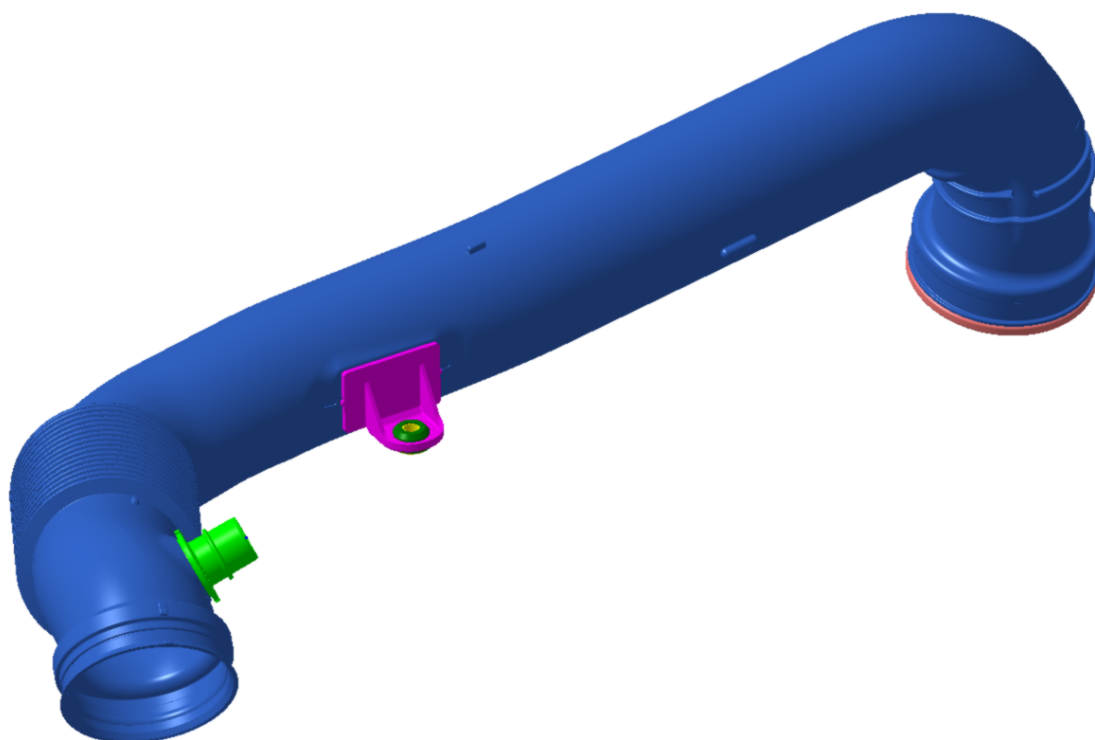


Obr. 26 Rozhraní softwaru Simcenter STAR-CCM+



## 6 ORIGINALNÍ SYSTÉM

Jako předlohový systém byl zvolen motor TIGERSHARK 2,4L od společnosti Fiat. Model čistého potrubí sacího systému je vyobrazen na obrázku 25. Původní systém byl vyráběn technologií vyfukování, kde hlavní část potrubí byla vyráběna z materiálu TPC-ET/PBT-GF30. V alternativním návrhu, zpracovaném v této práci, musí být zakomponované veškeré funkční prvky, které jsou v originálním řešení. Mezi tyto prvky patří ventil pro odvětrání klikové skříně, fixační prvky a vlnovce určené pro kompenzaci pohybu motoru. Vlevo je potrubí napojeno na víko filtrační skříně a vpravo je napojeno na škrťací klapku. Směr proudění vzduchu je tedy zleva doprava.



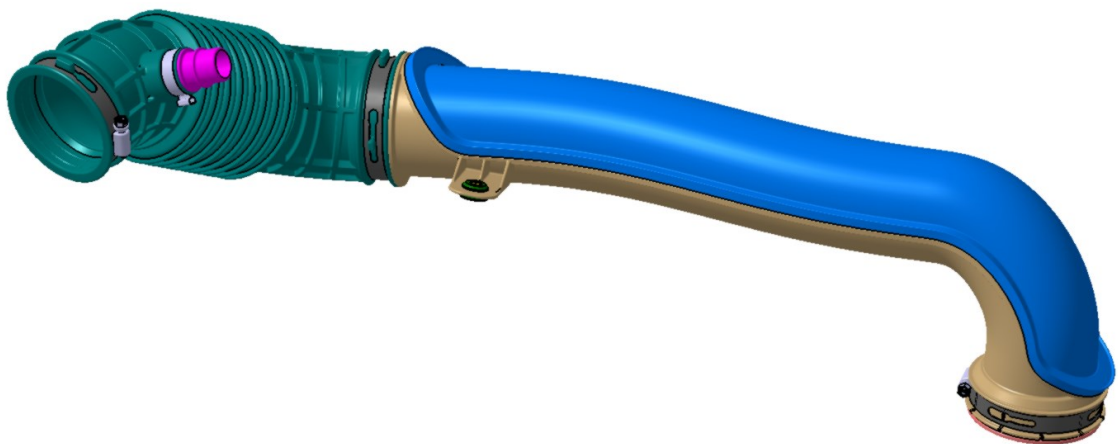
Obr. 27 Originální sací potrubí pro motor TIGERSHARK 2,4L



## 7 NÁVRH SACÍHO POTRUBÍ

Konstrukční návrh byl zpracován v softwaru CATIA V5 a některé geometrie byly převzaty z konstrukčních řešení automobilů obdobné motorizace. Od technologie vyfukování se u této aplikace z důvodu velké zmetkovitosti a velkého množství odpadu postupně ustupuje. Z tohoto důvodu jsem v rámci této práce vytvořil alternativní návrh bez použití vyfukování.

Zvolil jsem kombinaci plastového svařence a gumového vlnovce, jelikož je nutné zajistit tlumení pohybu motoru, ale zároveň by celogumové provedení bylo ekonomicky nevýhodné.



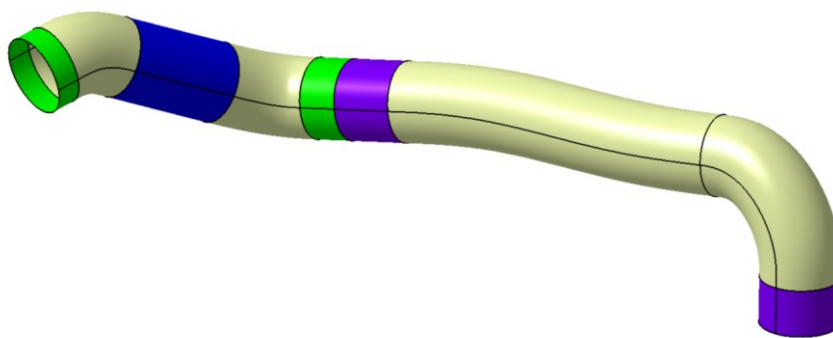
*Obr. 28 Navržená sestava*

### 7.1 Návrh střednice a vnitřního objemu

Při návrhu čisté strany nízkotlaké větve sání je nutné si nejdříve rozvrhnout pozice jednotlivých prvků. Dále je nutné zjistit připojovací body a dostupný zástavbový prostor, do kterého se budeme snažit potrubí navrhnut.

V případě tohoto návrhu jsem převzal připojovací body z existujícího systému a použil rozměry spojovacích geometrií z již existujících konstrukčních řešení. Z důvodu zajištění těsnosti a jednoduché montáže musí být střednice vnitřního objemu pod spojovacími geometriemi rovná.

Na obrázku 29 je vidět vnitřní objem. Zelená barva označuje místa určená pro těsnící geometrii, fialová rovné sekce pro výběh sliderů a tmavě modrá označuje oblast vlnovců, u které je též žádoucí, aby byla na válcové ploše.

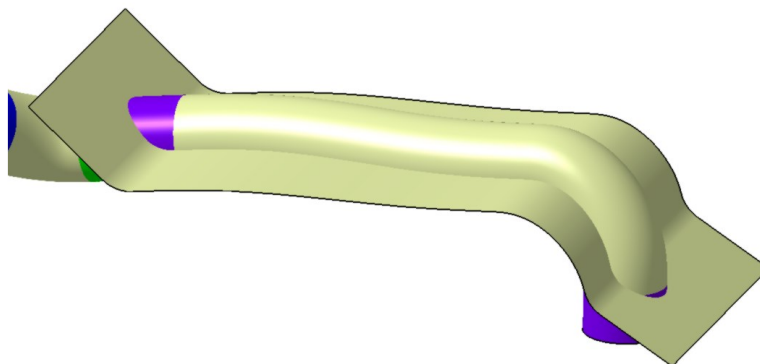


Obr. 29 Vnitřní objem návrhu

## 7.2 Návrh dělicí roviny svařence

Jelikož jsem pro tento návrh zvolil metodu vibračního svařování, je nutné zajistit, aby dělicí rovina byla extruzí křivky ve směru vibrací. Směr vibrací je obvykle kolmý k ploše tvořené osami obou konců svařence. Jelikož má vnitřní objem tohoto návrhu kruhový průřez, tak nám dělicí rovina vznikne vysunutím střednice.

Po získání hlavní dělicí roviny je třeba vytvořit výběhové plochy, které zakončují svařovací geometrii. Výběhové roviny nesmí svírat se směrem svařovací síly (který je většinou ve směru formování) úhel menší než  $60^\circ$ . V místě napojení výběhových rovin a hlavní dělicí roviny je třeba udělat zaoblení o rádiusu minimálně dvě výšky výsledné svařovací geometrie.



Obr. 30 Dělicí rovina s výběhy

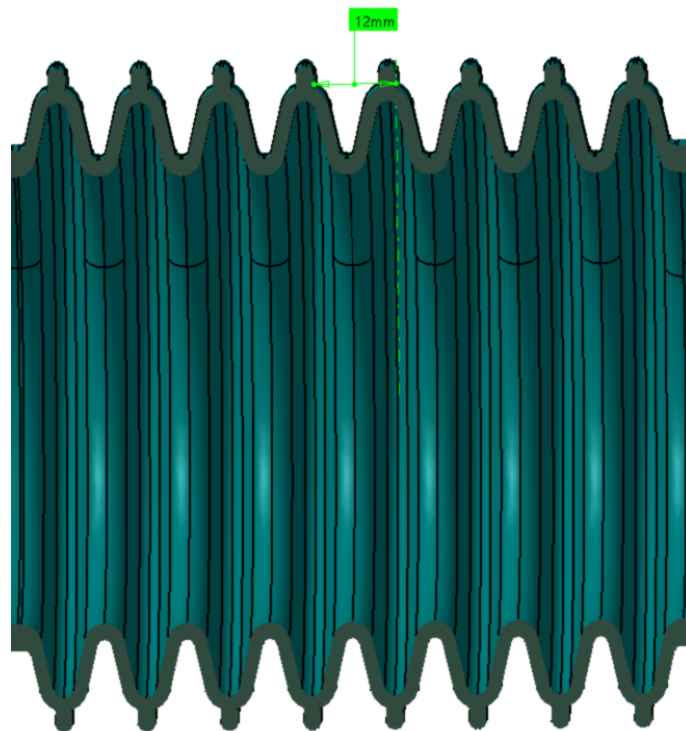
## 7.3 Gumová trubka

Jelikož je na vstupu gumové trubky napojeno odvětrání klikové skříně je nutné, aby byla odolná vůči olejům. Při volbě materiálu jsem zohlednil i fakt, že v místě, kde je umístěna, nebude vystavena vysokým teplotám. Z těchto důvodů je navržena z materiálu AEM.



*Obr. 31 Gumová část čistého potrubí*

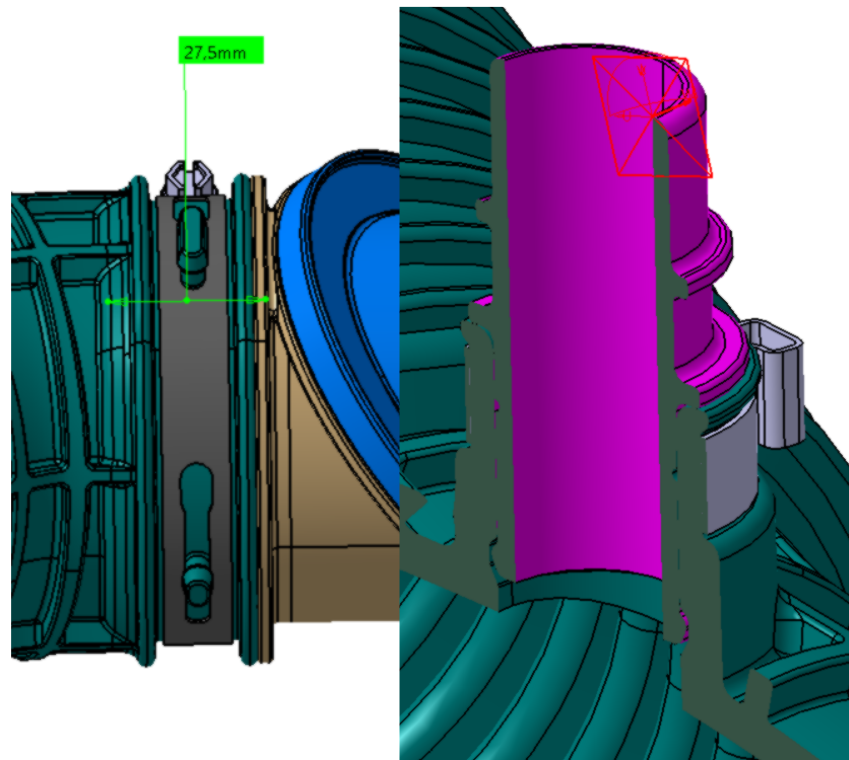
Gumová část čistého potrubí byla navržena tak, aby zajišťovala dostatečné tlumení pohybu motoru a zároveň kompenzovala případné nepřesnosti finální sestavy. Toto zajišťuje osm vlnovců navržených dle standardní geometrie pro elastomery a termoplastické elastomery.



*Obr. 32 Detailní řez vlnovci*

Pro zajištění těsnosti mezi gumovým a plastovými díly bylo použito spojení ocelovými sponami. Pro spojení se svařencem a víkem filtrační skříně jsem zvolil sponu dotahovanou šroubem a pro spojení s nátrubkem pro odvětrání klikové skříně jsem použil lisovanou sponu.

Těsnící geometrie byly převzaty ze systémů použitých pro jiné automobily. Díl byl navržen s nominální tloušťkou stěny 4 mm. Žebrováním o šířce 3 mm a výšce 4 mm. Hlavní funkcí žebrování je předejít kolapsu profilu při dosažení vysokého podtlaku, což by zabránilo dopravování vzduchu do motoru.



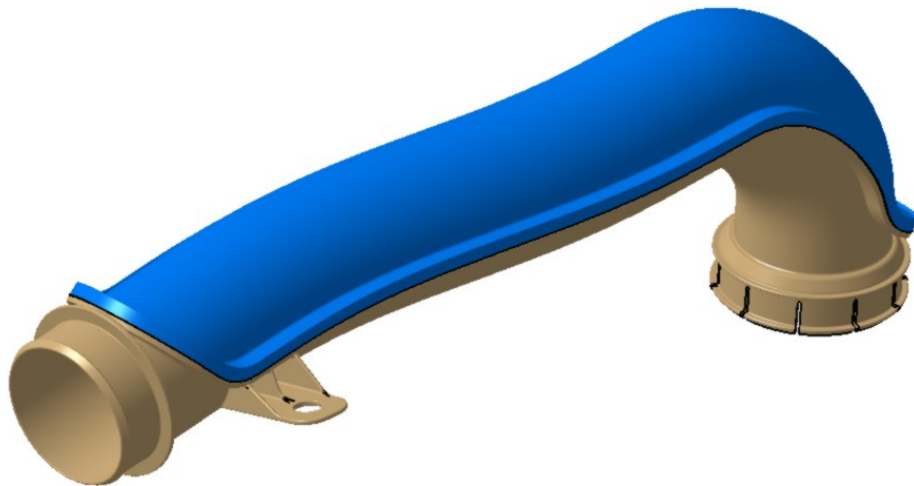
Obr. 33 Spoje na gumovém potrubí

#### 7.4 Nátrubek pro odvětrání klikové skříně

Nátrubek není možné přivařit, jako tomu je v původní verzi tohoto systému. Z tohoto důvodu jsem zvolil spojení sponou. Nátrubek musí být z plastu odolného oleji, a proto jsem zvolil materiál PA6. Poloha, spojovací a těsnící geometrie byly převzaty z originálního návrhu. Nominální tloušťka stěny je 2,5 mm.

#### 7.5 Svařenec

Největší část sestavy tvoří svařenec dvou plastových dílů. Pro výrobu tohoto dílu jsem navrhl vibrační svařování. Jelikož je na výkrese předepsaná relativně přísná čistota dílu, bude zřejmě nutné díl svařovat s odsáváním. Jako referenci jsem použil svařovací geometrii užitou v obdobných aplikacích.



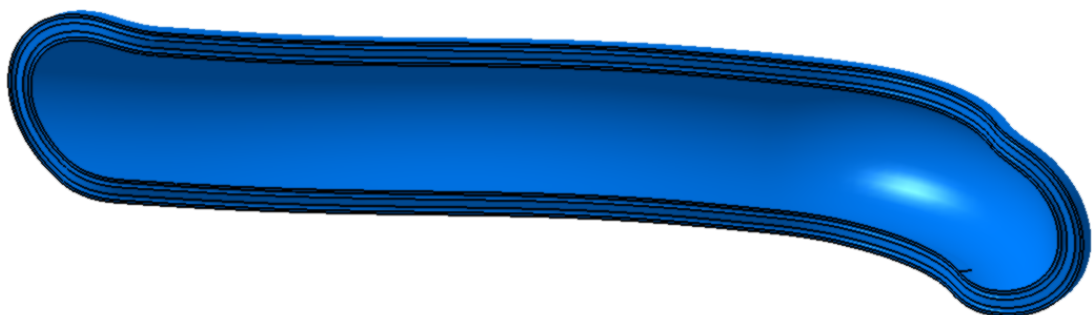
*Obr. 34 Svařenec*

Díl byl navržen s hloubkou provaření 1,5mm, což by mělo být dostatečné i pro vysokotlaké aplikace.

## **7.6 Víko svařence**

Víko svařence bylo navrženo tak, aby se dalo odformovat pouze v hlavním formovacím směru bez nutnosti použití sliderů. Jelikož je pro tento díl nutná podmínka svařitelnosti, odolnost proti oleji a dobré mechanické vlastnosti, předepsal jsem materiál PA6 GF30.

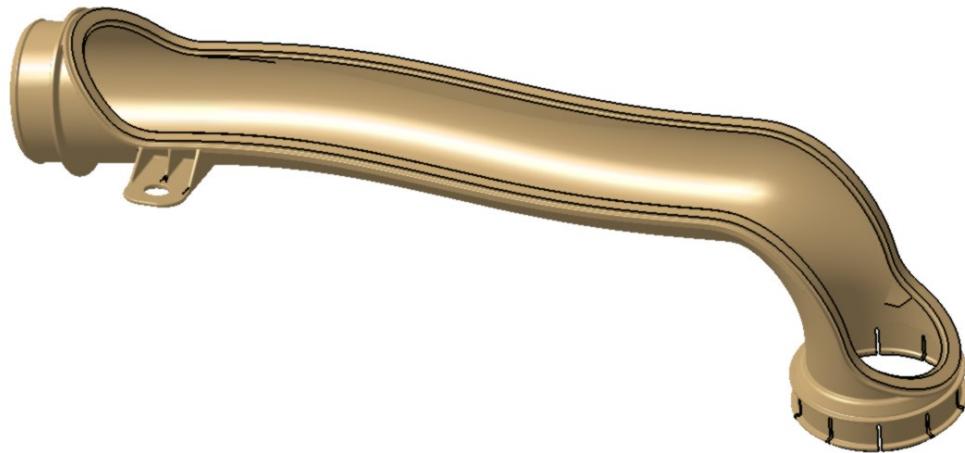
Díl byl navržen s nominální tloušťkou stěny 2,5 mm, což je běžně doporučovaná tloušťka stěny pro díly obdobné aplikace



*Obr. 35 Víko svařence*

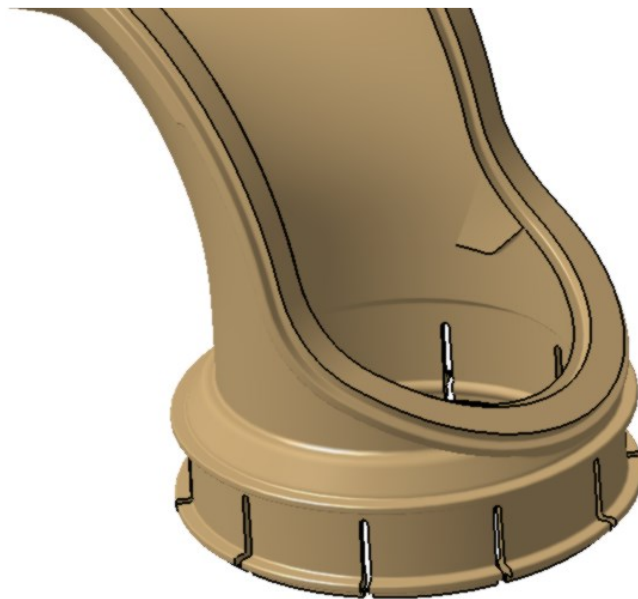
## 7.7 Tělo svařence

Tak jako u víka svařence, i na tomto dílu jsou požadavky na svařitelnost, odolnost proti oleji a dobré mechanické vlastnosti. Z tohoto důvodu je tělo též vyrobeno z PA6 GF30. Součástí těla je fixační prvek, který byl na originálním dílu navařovaná součást. Tělo svařence bylo navrženo s nominální tloušťkou stěny 2,5 mm.



*Obr. 36 Tělo svařence*

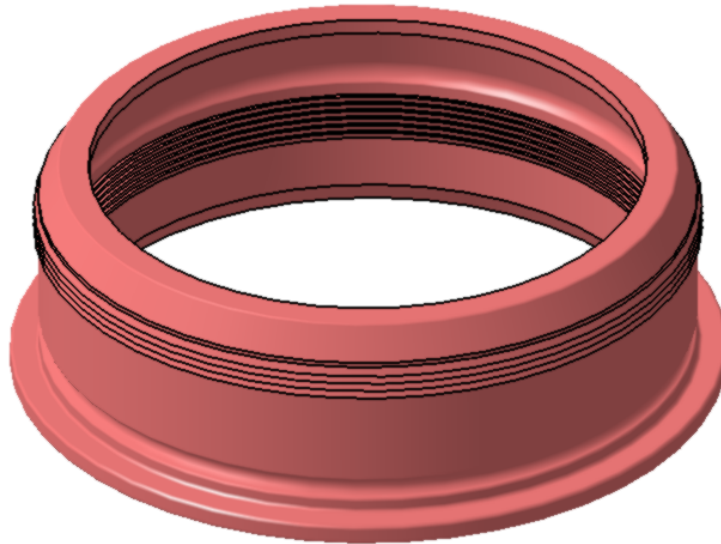
Fixační prvek používá identickou pryžovou podložku a pouzdro jako originální systém. Tělo svařence je, co se formování a velikosti týče, velmi náročný díl. Z důvodu složitosti formování vznikají u výstupu z potrubí ostré hrany, které negativně ovlivňují proudění.



*Obr. 37 Ostré hrany vzniklé formováním*

## 7.8 Izolační vložka

Těsnost mezi tělem svařence a škrťací klapkou zajišťuje izolační vložka. Proti vypadnutí před montáží do vozidla ji chrání převlékaná geometrie na těle svařence. Jelikož je nutná odolnost proti oleji a není předpoklad vystavení extrémním teplotám je navržena z materiálu AEM.

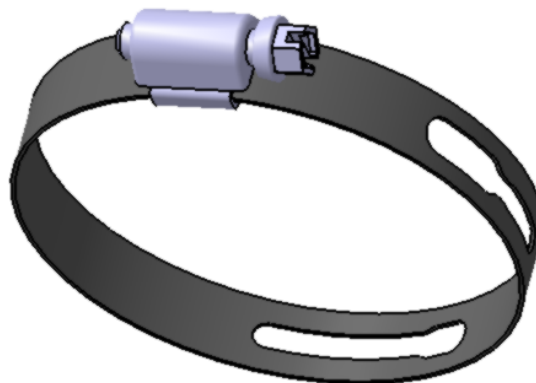


*Obr. 38 Izolační vložka*

## 7.9 Ocelové spony se šroubem

Těsnost spojů mezi gumovou trubkou a víkem filtrační komory zajišťuje ocelová spona se šroubem. Identická spona je použita i pro zatěsnění spoje se škrťací klapkou a svařencem.

Navrhl jsem sponu o šířce 12 mm a vnitřním průměru 75-85 mm. Jako předlohu jsem použil standardizovanou řadu spon od společnosti NORMA.



*Obr.39 Spona použitá v návrhu*

## 7.10 Výkresová dokumentace

Při zhotovení výkresové dokumentace byl použit software CATIA V5. Na výkresech jsou z důvodu vysoké tvarové náročnosti uvedeny pouze funkční rozměry s tím, že nekótované rozměry se řídí 3D modelem.

Jelikož se jedná o čistou stranu sacího systému je nutné předepsat čistotu dílů, aby nedošlo ke kontaminaci plnicího vzduchu. Při navrhování tolerančních polí jsem se držel běžně předepisovaných hodnot pro plastové díly.



## 8 SIMULACE PROUDĚNÍ

V této části se budu zabývat simulací proudění pro originální a alternativní návrh. Pro výpočet bylo použito pouze vnitřních objemů. V průběhu provádění výpočtu se postupovalo v souladu s normou ISO 5011.

### 8.1 Zpracování v preprocesoru

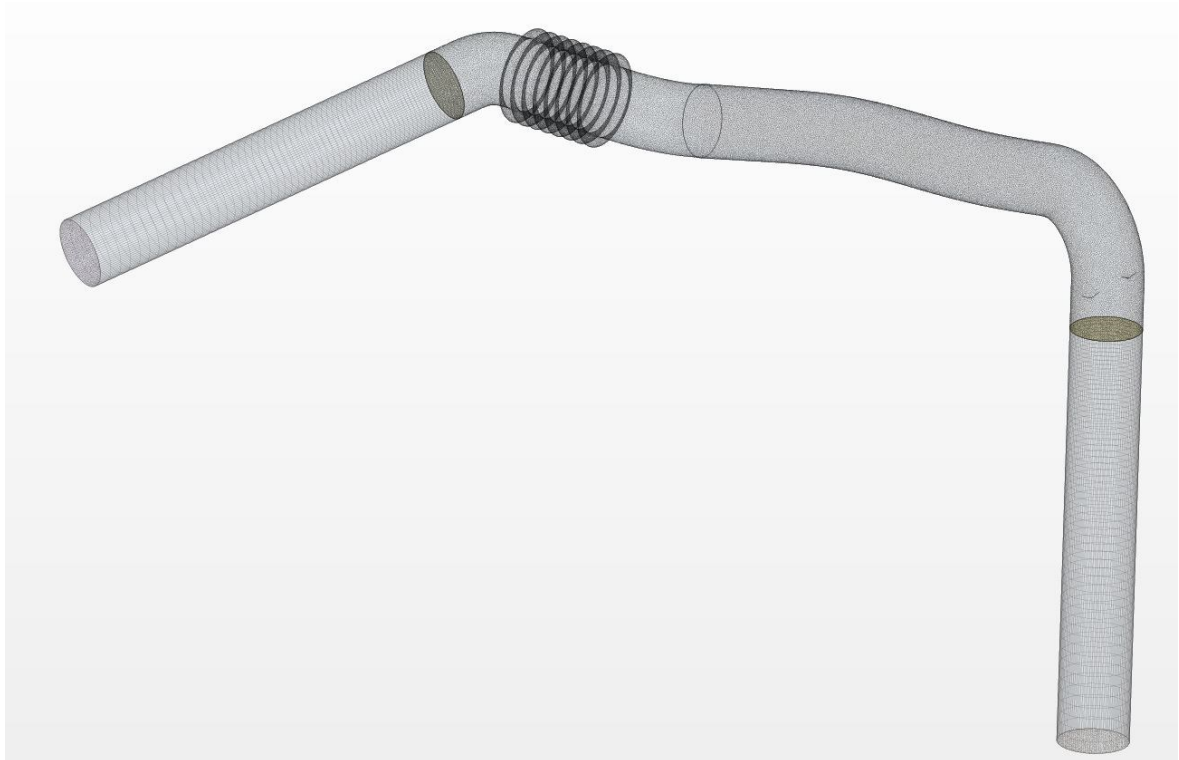
Modely vnitřních objemů byly exportovány do softwaru ANSA. V průběhu konverze často dojde k poškození tvarově složitých ploch a bylo proto model nutné zašít. Následně jsem na koncích udělal extruzi šestinásobku vnitřního průměru ( $ID = 66,7\text{mm}$ ). Tato extruze vychází z normy ISO 5011, pojednávající o testování sacích systémů. Na závěr se zpracovaný vnitřní objem exportoval do softwaru STAR.

### 8.2 Vytvoření sítě konečných prvků

Jako tvar konečných prvků byly zvoleny polyhedrony o minimální velikosti 0,2 mm a maximální 2 mm. Originální systém byl následně tvořen 992 924 elementy a alternativní návrh 587 652 elementy.



*Obr. 40 Sít' konečných prvků originálního systému*



*Obr. 41 Síť konečných prvků systému navrženého pro tuto práci*

### 8.3 Fyzikální model

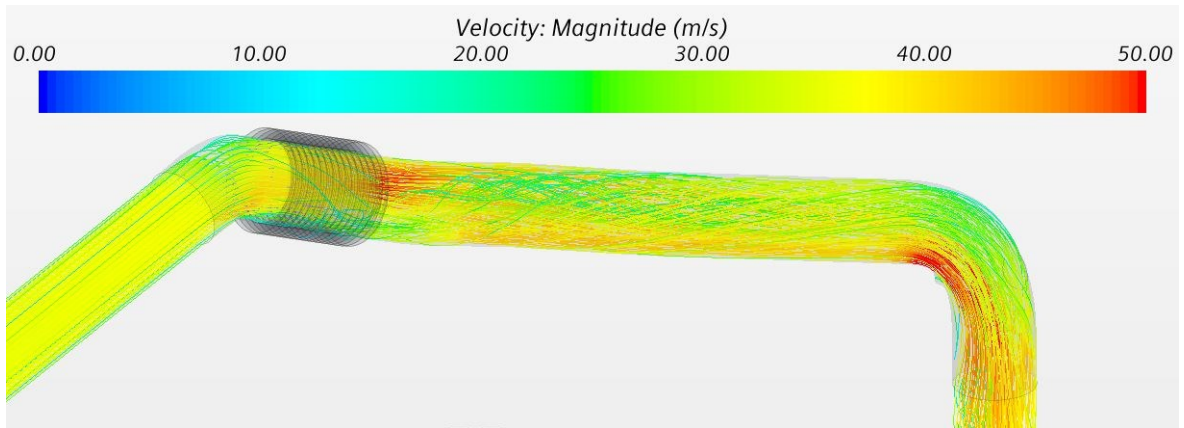
V rámci výpočtů proudění byl vzduch uvažován jako ideální plyn. Proudění bylo zkoumáno pouze pro jeden okamžik v čase. Turbulentní model byl zvolen k-omega.

### 8.4 Okrajové podmínky

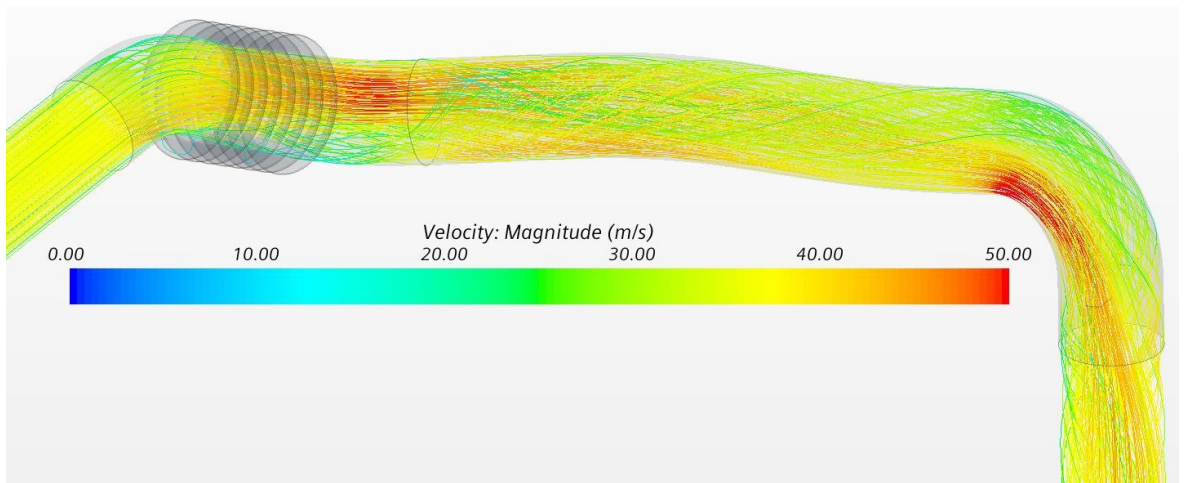
Pro okrajové podmínky byl na vstupním hrdle nastaven atmosférický o hodnotě 101,325 kPa. Na výstupním hrdle byl nastaven podtlak s průtokem 0,13694 kg/s. Výpočet byl proveden pro teplotu 300 K.

### 8.5 Výsledná tlaková ztráta

Výpočet byl prováděn tak dlouho, dokud se rozdíl jednotlivých iterací výpočtu neustálil na zanedbatelné hodnotě. Výsledná tlaková ztráta originálního systému se ustálila na 506,5429 Pa. Tlaková ztráta navržené alternativy vyšla na 491,8254 Pa. Navržená alternativa tedy vyšla o 14,7175 Pa lépe.



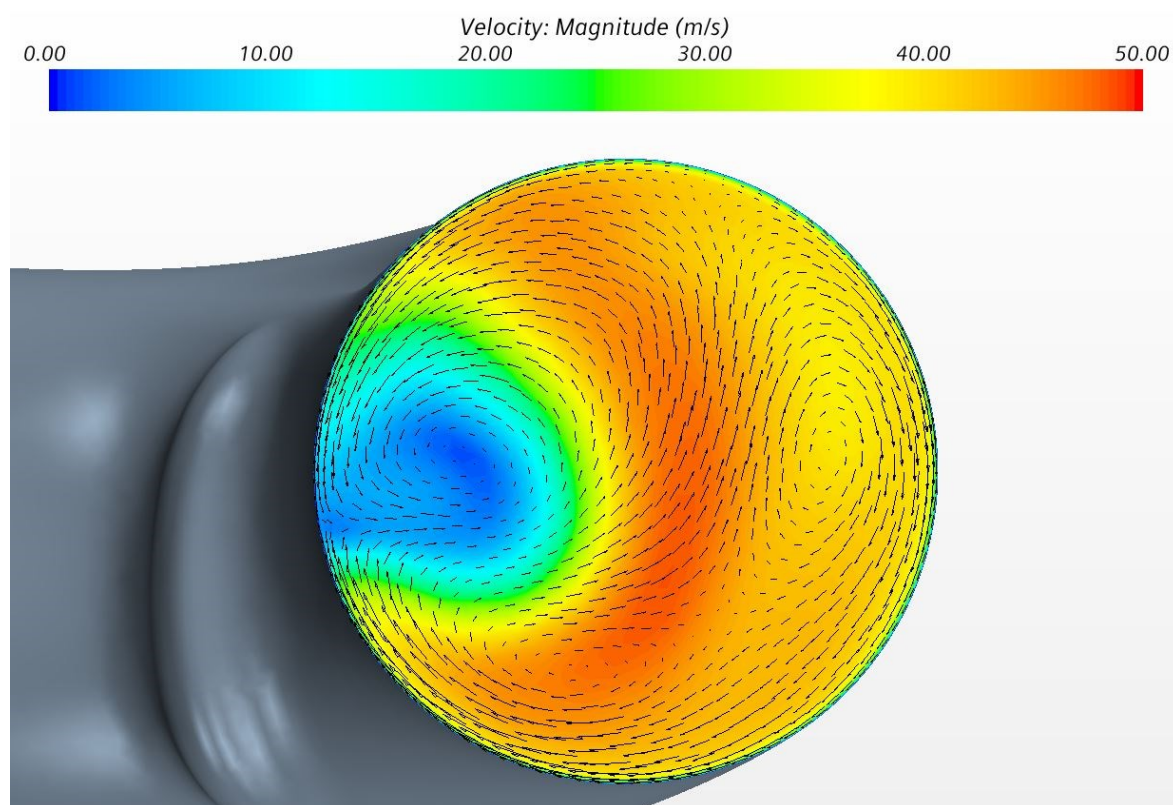
*Obr. 42 Proudnice v originálním systému*



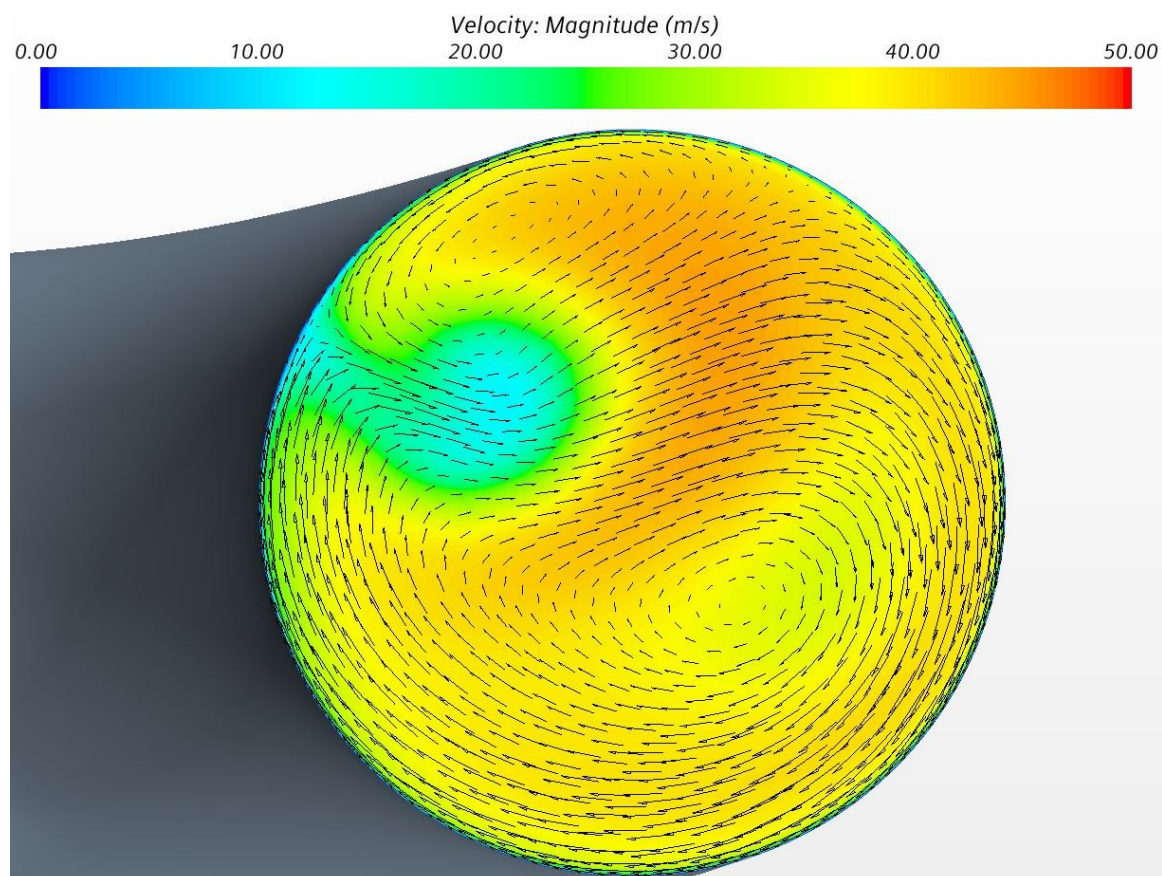
*Obr. 43 Proudnice v alternativním návrhu*

## 8.6 Uniformita proudění na výstupu a směr turbulencí

Uniformita proudění je důležitá z důvodu využití celého průřezu určeného k proudění. Jedná se o bezrozměrnou veličinu a nabývá hodnot od nuly do jedné, kdy jedna je zcela ideální rozložení proudění. U reálných případů ale nabývá obvykle hodnot od 0,5 do 0,95. Vysoká uniformita proudění má pozitivní vliv na tlakovou ztrátu v navazujících dílech. V případě použitého turbodmychadla je nutné vyhodnocovat i směr turbulencí, jelikož při opačném směru turbulencí dochází ke snižování efektivity turbodmychadla. Výsledná uniformita proudění na výstupu originálního systému je 0,8528 a u alternativního designu je 0,9318.



*Obr. 44 Uniformita proudění a směr turbulencí na výstupu originálního systému*

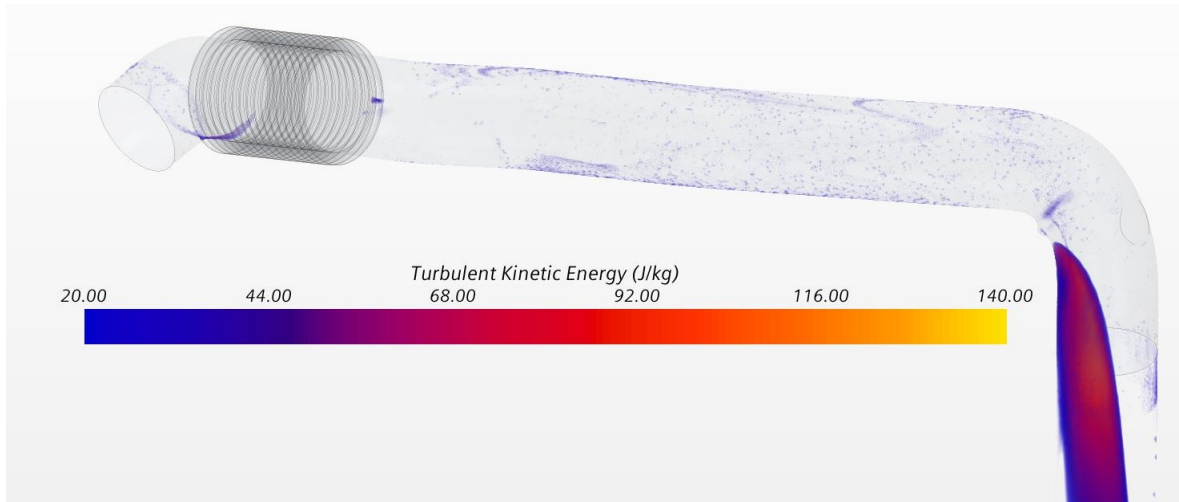


*Obr. 45 Uniformita proudění a směr turbulencí na výstupu alternativního návrhu*

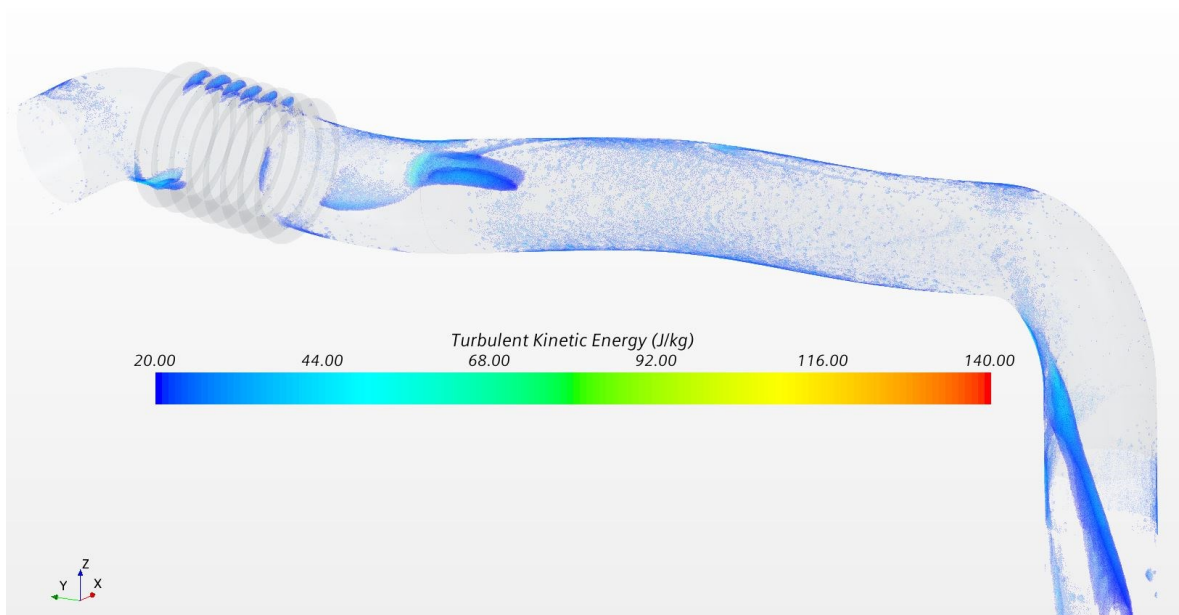


## 8.7 Turbulentní kinetická energie

Turbulentní kinetická energie je hodnota kinetické energie víření ku jednotce váhy. Může být způsobena odtržením proudění, třením a vztlakem. Je žádoucí dosáhnout co nejnižší hodnoty.



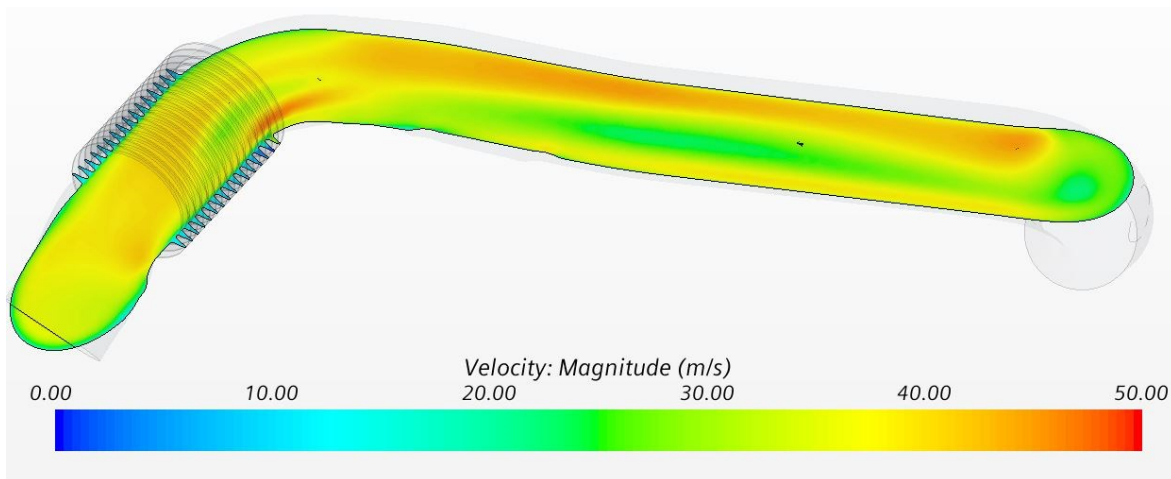
Obr. 46 Turbulentní kinetická energie v originálním systému



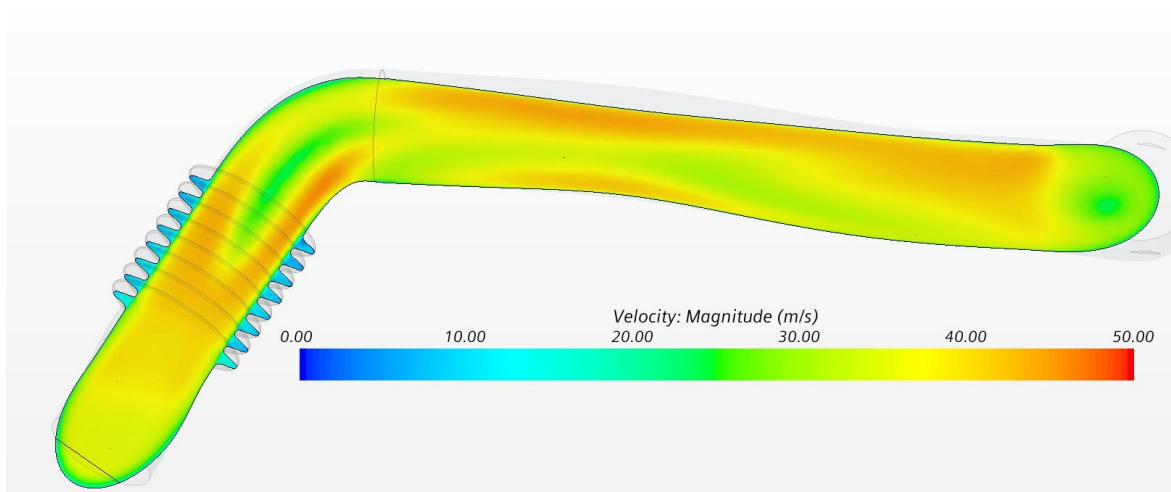
Obr. 47 Turbulentní kinetická energie navržené alternativy

## 8.8 Detail rychlostí proudění

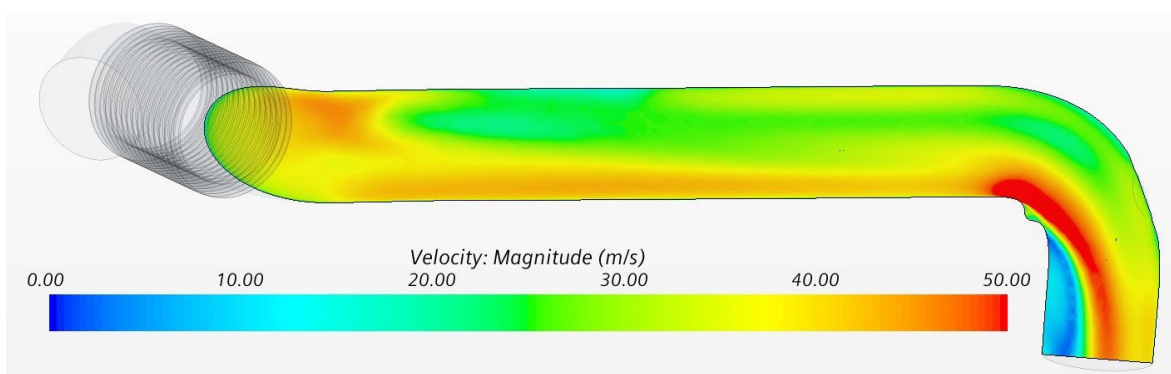
Při optimalizaci sacích systémů je důležité vyhodnocovat detaily rychlostí proudění. Nabízí cenné informace o proudění v daném detailu, pomocí kterého je následně možné zvážit další kroky d dosažení lepších výsledků proudění.



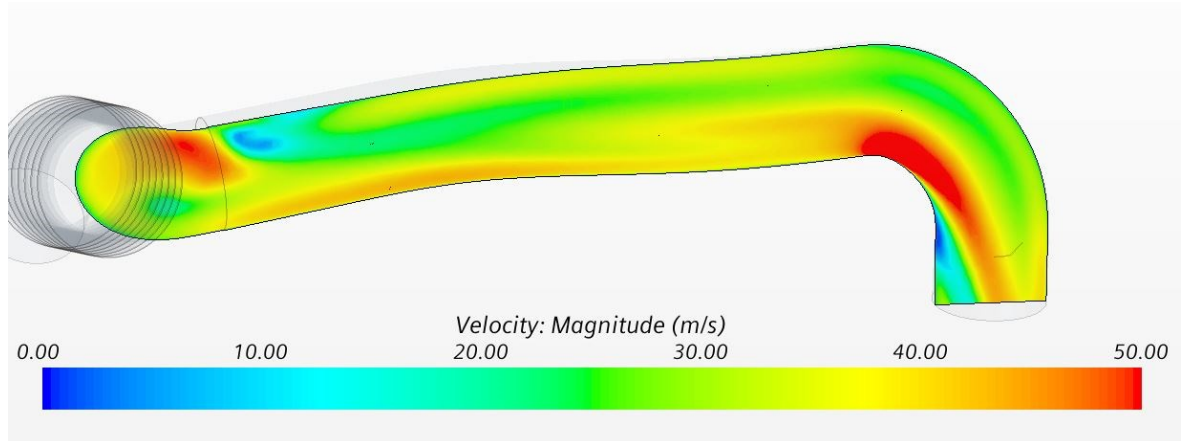
Obr. 48 Rozložení proudění na vstupu do originálního systému



Obr. 49 Rozložení proudění na vstupu do alternativního návrhu



Obr. 50 Rozložení proudění na výstupu originálního systému



Obr. 51 Rozložení proudění na výstupu alternativního návrhu

## 8.9 Vyhodnocení simulace proudění

Alternativní návrh vyšel ve všech oblastech simulace lépe. Tlaková ztráta vyšla lépe o 14,7175 Pa, což je zlepšení o 2,9 %. Uniformita proudění se zlepšila o 0,079. Předěšlo se velkému odtržení proudění v posledním ohybu a tím došlo k výrazné redukci kinetické turbulentní energie.

Mezi hlavní důvody zlepšení proudění patří absence technologických prolisů, které není nutné aplikovat z důvodu jiné výrobní technologie.

Pro dosažení ještě lepších výsledků by bylo nutné zmírnit poslední ohyb před výstupem z potrubí, což bohužel z důvodu zástavbového prostoru není možné. Jemné zlepšení by mohly přinést generátory víření umístěné v prudkém ohybu.

## ZÁVĚR

Cílem této práce bylo vytvořit alternativní návrh nízkotlaké větve sání.

V teoretické části jsme se zabývali teorií sacích systémů, kde se pojednávalo o principu filtrace vzduchu, jednotlivých dílech sacích systémů a jejich funkci. Následoval rozbor technologií a materiálů používaných k výrobě sacích systémů. Poslední kapitolou teoretické části byly zásady při navrhování vstřikovaných dílů.

V praktické části byl zhotoven alternativní návrh nízkotlaké větve sání, v úzké spolupráci se společností Mann+Hummel. Pro tento návrh byly použity technologie svařování a vstřikování namísto vyfukování. Byly představeny programy, které byly použity k tvorbě a zhodnocení navrženého systému v rámci této práce.

V rámci praktické části byla též provedena simulace proudění pro alternativní a originální návrh, ze které vyplývá, že výsledné konstrukční řešení vyšlo z pohledu proudění lépe než originální návrh použitý ve výrobě. Dále, je ale možná další optimalizace systému.



**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] HADRAVA, M. Sací systémy spalovacích motorů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011.
- [2] RAUSCHER, Jaroslav. Vozidlové motory-studijní opory - 1. vydání. Brno: [s.n.], 2003.
- [3] WEBER, Andreas. Product Development Handbook: Air Intake Systems. 3. vydání. MANN+HUMMEL, 2018.
- [4] FEJTA, Tomáš. Passenger car air filtration. MANN+HUMMEL, 2018.
- [5] DURST, Michael, Gunnar M KLEIN a Nikolaus MOSER. Filtration in Fahrzeugen: Grundlagen und Beispiele zur Luft-, Öl-und Kraftstofffiltration. D-86895 Landsberg/Lech: Verlag moderne industrie, 2002. ISBN 9783478932356.
- [6] AUTO KELLY [online]. [2020] [cit. 2020-03-06]. Dostupný z WWW: <<https://www.autokelly.cz/Product/40-14-550/13503/39849642;39850140;7;1108;23820;34225982;34268947;34203577>>
- [7] WEBER, Andreas. Product Development Handbook: Intake Manifold Systems. 3. vydání. MANN+HUMMEL, 2020
- [8] SUMMIT [online]. [2020] [cit. 2020-03-06]. Dostupný z WWW: <<https://www.summitracing.com/parts/ado-12686561>>
- [9] VYBÍRAL, Pavel. Filtrace atmosférického vzduchu. V Praze: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 978-80-01-04902-0.
- [10] BOBEK, J. Vstříkovací formy pro zpracování termoplastů, Code Creator, s.r.o 2016. ISBN: 978-80-88058-65-6
- [11] INDIAMART [online]. [2020] [cit. 2020-03-26]. Dostupný z WWW: <<https://www.indiamart.com/proddetail/aluminum-casting-for-inlet-manifold-11423236212.html>>
- [12] ŠKROBÁK, A. Konstrukce vstříkovací formy pro vstříkování elastomerů. Zlín: Univerzita Tomáš Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, 2010.
- [13] MIKULÍK, D. Technologie injekčního vstříkování termoplastů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2014.
- [14] BĚHÁLEK, L. Polymery, Code Creator, s.r.o 2016. ISBN: 978-80-88058-68-7

[15] AUSPERGER, A. Technologie zpracování plastů, Code Creator, s.r.o 2016. ISBN: 978-80-88058-77-9

[16] WIKIPEDIA [online]. [2020] [cit. 2020-03-26]. Dostupný z WWW: <[https://en.wikipedia.org/wiki/IR\\_welding](https://en.wikipedia.org/wiki/IR_welding)>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

$\mu\text{m}$	Mikrometr
$\eta$	Účinnost
m	Hmotnost
v	Rychlost
$d$	Průměr
m/s	Metr za sekundu
E	Odlučivost
$f$	Frekvence
c	Rychlost zvuku
S	Průřez
l	Délka
V	Objem
Hz	Hertz
kN	kilo Newton
cm	Centimetr
kg/hod	Kilogram za hodinu
$\text{cm}^3$	Centimetr krychlový
°	Stupeň
K	Kelvin

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1	Schéma sacího systému přeplňovaného zážehového motoru .....	12
Obrázek 2	Vizualizace sacího systému pro přeplňovaný motor.....	13
Obrázek 3	Příklad uložení adsorbéru uhlovodíků.....	15
Obrázek 4	Princip funkce váhy vzduchu .....	16
Obrázek 5	Uložení mřížky a její vliv na proudění.....	17
Obrázek 6	Mezichladič z vozu Škoda Octavia 1.8 T.....	18
Obrázek 7	Plnicí kanály pro motor V8 .....	19
Obrázek 8	Částice běžně se vyskytující ve vzduchu .....	20
Obrázek 9	Mechanismy zachycení částic .....	21
Obrázek 10	Výsledná frakční odlučivost vlákna .....	22
Obrázek 11	Přehled filtrů v automobilu .....	23
Obrázek 12	Zdroje a šíření hluku sacím systémem .....	24
Obrázek 13	Akusticky účinné geometrie.....	25
Obrázek 14	Příklady druhů rezonátorů a jejich umístění.....	25
Obrázek 15	Rozdílné návrhy Hemholtzova rezonátoru a graf jejich tlumících frekvencí .	26
Obrázek 16	Hliníkové plnicí kanály .....	27
Obrázek 17	Základní dělení polymerů.....	28
Obrázek 18	Chování polymerů při zatížení: plast (vlevo), elastomer (vpravo).....	29
Obrázek 19	Schéma vertikálního vstřikovacího stroje .....	29
Obrázek 20	Vstřikovací cyklus elastomerů .....	30
Obrázek 21	Schéma výroby lahve z předlisku.....	31
Obrázek 22	Princip IR svařování.....	33
Obrázek 23	Zaoblení hrany.....	34
Obrázek 24	Návrh úkosů .....	35
Obrázek 25	Rozhraní softwaru CATIA V5 .....	39
Obrázek 26	Rozhraní softwaru Simcenter STAR-CCM+ .....	40
Obrázek 27	Originální sací potrubí pro motor TIGERSHARK 2,4L .....	41
Obrázek 28	Navržená sestava .....	42
Obrázek 29	Vnitřní objem návrhu .....	42
Obrázek 30	Dělicí rovina s výběhy.....	42
Obrázek 31	Gumová část čistého potrubí .....	42
Obrázek 32	Detailní řez vlnovci .....	43
Obrázek 33	Spoje na gumovém potrubí .....	44
Obrázek 34	Svařenec .....	44

Obrázek 35 Víko svařence .....	45
Obrázek 36 Tělo svařence.....	46
Obrázek 37 Ostré hrany vzniklé formováním.....	46
Obrázek 38 Izolační vložka .....	47
Obrázek 39 Síť konečných prvků originálního systému.....	48
Obrázek 40 Síť konečných prvků systému navrženého pro tuto práci .....	49
Obrázek 41 Proudnice v originálním systému .....	50
Obrázek 42 Proudnice v originálním systému .....	50
Obrázek 43 Proudnice v alternativním návrhu .....	50
Obrázek 44 Uniformita proudění a směr turbulencí na výstupu originálního systému .....	51
Obrázek 45 Uniformita proudění a směr turbulencí na výstupu alternativního návrhu .....	51
Obrázek 46 Turbulentní kinetická energie v originálním systému.....	52
Obrázek 47 Turbulentní kinetická energie navržené alternativy .....	52
Obrázek 48 Rozložení proudění na vstupu do originálního systému .....	53
Obrázek 49 Rozložení proudění na vstupu do alternativního návrhu.....	53
Obrázek 50 Rozložení proudění na výstupu originálního systému .....	53
Obrázek 60 Rozložení proudění na výstupu alternativního návrhu.....	54

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 Hospodárně dosažitelné třídy přesnosti dle DIN 16901 **Chyba! Záložka není definována.**<sup>6</sup>

Tabulka 2 Tolerance rozměrů plastových vstřikovaných dílů dle DIN 16901 ..... **Chyba! Záložka není definována.**<sup>6</sup>

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Model – DOCEKAL\_BP\_CSD

Příloha P II: Výkres – DOCEKAL\_BP\_CSD

Příloha P III: Výkres – DOCEKAL\_BP\_CSD\_GUMOVA\_TRUBKA

Příloha P IV: Výkres – DOCEKAL\_BP\_CSD\_KOMPENZACNI\_PODLOZKA

Příloha P V: Výkres – DOCEKAL\_BP\_CSD\_LISOVANA\_SPONA

Příloha P VI: Výkres – DOCEKAL\_BP\_CSD\_NATRUBEK

Příloha P VII: Výkres – DOCEKAL\_BP\_CSD\_POUZDRO

Příloha P VIII: Výkres – DOCEKAL\_BP\_CSD\_SPONA\_ID\_75-85

Příloha P IX: Výkres – DOCEKAL\_BP\_CSD\_SVARENEC

Příloha P X: Výkres – DOCEKAL\_BP\_CSD\_TELO

Příloha P XI: Výkres – DOCEKAL\_BP\_CSD\_TESNICI\_VLOZKA

Příloha P XII: Výkres – DOCEKAL\_BP\_CSD\_VIKO

