



SYSTÉM ODVĚTRÁNÍ KLIKOVÉ SKŘÍŇĚ ZÁŽEHOVÉHO MOTORU EA211 1,6L MPI 81KW

Diplomová práce

Studijní program: N2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2302T010 – Konstrukce strojů a zařízení
Autor práce: **Bc. Michal Alexa**
Vedoucí práce: Ing. Karel Páv, Ph.D.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Michal Alexa**
Osobní číslo: **S12000424**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce strojů a zařízení**
Název tématu: **Systém odvětrání klikové skříně zážehového motoru EA211 1,6l MPI 81kW**
Zadávací katedra: **Katedra vozidel a motorů**

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

1. Popište obecnou problematiku systémů odvětrání klikové skříně pístového spalovacího motoru, uveďte důvody, obtíže a současné trendy. Zaměřte se na možná rizika u jednotlivých konstrukčních uspořádání.
2. Provedte stručný popis systému odvětrání klikové skříně motoru EA211 1,6l MPI 81kW, který je předmětem konstrukčních úprav.
3. Navrhněte nový systém odvětrání klikové skříně včetně odlučovače oleje pro tento motor. Preferované umístění odlučovače oleje je ve víku hlavy válců.
4. Vypracujte výrobní výkresovou dokumentaci k navržené variantě. Zaměřte se pouze na modifikované a nové díly.
5. Během řešení diplomové práce spolupracujte se společností Škoda Auto a.s.

Rozsah grafických prací: **Výkresová dokumentace**
Rozsah pracovní zprávy: **Zpráva cca 50 stran. + CD**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:


- [1] **HROMÁDKA, M.:** Systém odvětrání klikové skříně vozidlového zážehového motoru s aplikací PCV ventilu, Diplomová práce TU v Liberci 2002.
- [2] **TRAUTMANN, P.:** Ölabscheider für die Kurbelgehäuseentlüftung, **Prezentace 2000.**
- [3] **SAUTER, L., TRAUTMANN, P.:** Messung und Abscheidung von Ölnabelaerosolen aus der Kurbelgehäuseentlüftung von Verbrennungsmotoren, **MTZ 12/2000, MTZ 1/2001.**
- [4] **Časopisy MTZ 6/2003, 11/2008.**
- [5] **Patentová literatura k odlučovačům oleje.**
- [6] **Zprávy z měření, Škoda Auto, a.s.**
- [7] **Firemní literatura výrobců automobilů, motorů a příslušenství.**

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Karel Páv, Ph.D.**
ŠKODA-AUTO a.s.

Datum zadání diplomové práce: **6. března 2015**
Termín odevzdání diplomové práce: **6. června 2016**


prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan




Ing. Robert Voženílek, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 6. března 2015

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Karlu Pávovi, Ph.D. za jeho vedení, cenné připomínky a názory k diplomové práci. Dále bych chtěl poděkovat konzultantovi Ing. Zdeňku Klimešovi z firmy Škoda Auto a.s. za poskytnutí informací a rad při vypracování diplomové práce.

System odvětrání klikové skříně zážehového motoru

EA211 1,6l MPI 81kW

Anotace

Diplomová práce se zabývá systémem odvětrání klikové skříně zážehového motoru EA211 1,6l MPI 81kW. Teoretická část práce pojednává o základech a požadavcích kladených na systémy odvětrání klikové skříně. Na základě analýzy sériového motoru koncernu VW je v praktické části práce uveden návrh nového systému odvětrání klikové skříně včetně odlučovače oleje, umístěného ve víku hlavy válců.

Klíčová slova: vývoj motorů, zkoušky motorů, systém odvětrání klikové skříně, odlučovač oleje

Crankcase Ventilation System of SI Engine

EA211 1,6l MPI 81kW

Annotation

This Diploma thesis deals with the crankcase ventilation system of SI engine EA211 1,6l MPI 81kW. The theoretical part deals with the basics and requirements on systems of crankcase ventilation. Based on the analysis of serial engine of the VW Group's practical work presented draft of a new crankcase ventilation system including an oil separator disposed within the cylinder head cover.

Key words: engine development, engine testing, crankcase ventilation system, oil separator

Desetinné třídění: (př. 621.43.01 - Teorie spalovacích motorů)

Zpracovatel: TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů

Dokončeno : 2016

Archivní označení zprávy:

Obsah

1	Úvod	11
2	Základy odvětrání klikové skříně	12
2.1	Původ vzniku blow-by plynů	12
2.2	Typické složení blow-by plynů	13
2.3	Důvody odvětrávání blow-by plynů	16
2.4	Vliv odvětrávání blow-by plynů na součásti motoru	17
3	Požadavky kladené na systémy odvětrání klikové skříně	18
3.1	Regulace tlaku	18
3.1.1	Regulace tlaku u přeplňovaných motorů	19
3.2	Odlučování oleje	20
3.2.1	Gravitační odlučovače	21
3.2.2	Labyrintové odlučovače	22
3.2.3	Cyklonové odlučovače	23
3.2.4	Spirálové odlučovače	24
3.2.5	Odstředivky	25
3.2.6	Vláknové odlučovače	26
3.2.7	Elektrostatické odlučovače	27
3.2.8	Zhodnocení systémů odlučování oleje	28
3.3	Volba vhodného místa odběru blow-by plynů	28
3.3.1	Odvětrání v bloku válců	29
3.3.2	Odvětrání v hlavě válců	29
3.4	Minimalizace rizika zamrznutí	30
3.4.1	PCV systém	30
3.5	Konstrukce zpětného vedení oleje	31
4	Motor EA211 1,6l MPI 81kW	32
4.1	Popis systému odvětrání klikové skříně	33
4.1.1	Provětrání klikové skříně	34
4.1.2	Odlučování oleje	35
4.1.3	Odvětrání plynů po odloučení oleje	37
4.1.4	Zpětné vedení odloučeného oleje	37
4.2	Klady a zápory současného systému odvětrání klikové skříně	38

5	Návrh nového systému odvětrání klikové skříně motoru	
	EA211 1,6l MPI 81kW	39
5.1	Soupis požadavků na systém odvětrání klikové skříně	39
5.2	Analýza vhodného řešení systému odvětrání klikové skříně	40
5.3	Nový návrh konstrukčního řešení systému odvětrání klikové skříně	44
6	Konstrukce nového systému odvětrání klikové skříně	48
6.1	Modifikace víka hlavy válců	48
6.2	Odlučovač oleje	51
6.2.1	Spodní a horní díl	52
6.2.2	Tlakový regulační ventil	54
6.2.3	Těsnění	60
6.3	Odvětrávací hadice	61
6.4	Modifikace sacího potrubí	63
6.5	Doporučené montážní pokyny	64
7	Zhodnocení návrhu nového systému odvětrání klikové skříně	65
8	Návrh ověření funkčnosti nového systému odvětrání klikové skříně	66
9	Závěr	68
	Seznam použité literatury	69

Seznam pojmů a zkratk

AEM	Ethylen a akrylátový kaučuk
CFD	Computational fluid dynamics, výpočetní dynamika tekutin
DIN	Deutsche Industrie-Norm, Německá průmyslová norma
EN	European Norm, Evropská norma
FEM	Finite element method, metoda konečných prvků
GF	Glass Fiber, skleněné vlákno
MPI	Multi Point Injection, více bodové vstřikování do sání
NS	Normal Tensile Strength, mez pevnosti v tahu
OHC	Over Head Camshaft
PA	Polyamid
PCV	Positive Crankcase Ventilation, pozitivní odvětrání klikové skříně
PP	Polypropylen
PUR	Polyuretan
TSI	Turbocharger Stratified Injection
VW	Volkswagen

Seznam veličin a jednotek

C_p	tuhost pružiny	$[N \cdot m^{-1}]$
d	průměr tuhého kotouče	$[m]$
d_p	průměr drátu pružiny	$[mm]$
d_{tr}	průměr trubky k sání	$[m]$
D	průměr membrány	$[m]$
D_e	účinný průměr membrány	$[m]$
D_p	střední průměr pružiny	$[mm]$
D_z	zástavbový prostor odlučovače pro pružinu	$[mm]$
D_1	maximální vnější průměr pružiny	$[mm]$
D_2	minimální vnitřní průměr pružiny	$[mm]$
f	plocha membrány	$[m^2]$
f_e	efektivní (účinná) plocha membrány	$[m^2]$
F_a	síla působící uvnitř ventilu od atmosférického tlaku	$[N]$
F_k	síla působící uvnitř ventilu od tlaku v klikové skříně	$[N]$
F_s	síla působící uvnitř ventilu od tlaku v sacím potrubí	$[N]$
F_1	předpětí pružiny	$[N]$

$F_8 = S_{pmax} = F_p$	maximální síla vyvozená pružinou	[N]
F_9	zatěžující síla při dosednutí závitů	[N]
g	tíhové zrychlení	[m.s ⁻²]
G	modul pružnosti ve smyku materiálu pružiny	[MPa]
h_s	výška sloupce oleje v sifonu odlučovače	[mm]
i	poměr vinutí	[-]
K	Wahlův korekční faktor	[-]
L_0	volná délka pružiny	[mm]
L_1	délka pružiny po montáži	[mm]
L_8	délka pružiny při maximálním zatížení	[mm]
L_9	délka pružiny při dosednutí závitů	[mm]
n	počet činných závitů pružiny	[-]
n_c	celkový počet závitů pružiny	[-]
n_z	počet závěrných závitů pružiny	[-]
Δp	rozdíl tlaků mezi sacím potrubím a klikovou skříní	[mbar]
p_a	atmosférický tlak	[Pa]
p_k	tlak v klikové skříní	[Pa]
p_{max}	maximální podtlak v klikové skříní	[Pa]
p_s	tlak v sacím potrubí	[Pa]
R_m	mez pevnosti v tahu materiálu pružiny	[MPa]
s	součinitel bezpečnosti	[-]
s_p	požadovaný minimální součinitel bezpečnosti	[-]
S_{max}	maximální síla působící na membránu	[N]
y_{max}	maximální požadovaná výchylka pružiny	[m]
y_1	deformace pružiny při požadovaném předpětí	[mm]
y_8	deformace pružiny při maximálním zatížení	[mm]
y_9	deformace pružiny při dosednutí závitů	[mm]
ρ_{ol}	hustota oleje	[kg.m ⁻³]
η	účinnost membrány	[-]
ϑ_{min}	vůle mezi činnými závity	[mm]
τ_{kh}^*	maximální dovolené napětí v krutu	[MPa]
τ_{k1}	napětí v krutu při stavu předpruženém	[MPa]
τ_{k8}	maximální napětí v krutu	[MPa]

1 Úvod

V posledních letech neustále rostou požadavky na odlučovače olejové mlhy, jako hlavní součásti systémů odvětrání klikové skříně u osobních a užitkových motorových vozidel. Výrobci automobilů po celém světě se snaží minimalizovat spotřebu oleje a množství vypouštěných škodlivých výfukových plynů z motoru do ovzduší, aby splnili požadavky na ochranu životního prostředí, požadavky zákazníků a regulační podmínky v podobě emisních norem. Se stále přísnějšími emisními požadavky, jako je Euro 6, počínaje rokem 2014, jsou kladeny na systémy odvětrání klikové skříně stále větší nároky.

Důvodem je pokrok v technologii motorů, stejně jako obecný trend prodlužování servisních intervalů. Zejména rostoucí využívání přeplňovaných motorů a zážehových motorů s přímým vstřikem paliva do válců, je obecně spojováno s vyššími hodnotami středního efektivního tlaku a zvyšujícími se otáčkami motoru. Tyto podmínky mají za následek změnu v rozmezí velikosti olejových kapiček v blow-by plynech, které proudí ze spalovacího prostoru do klikové skříně prostřednictvím nedokonalého utěsnění pístu ve válci. Olejové kapičky v těchto blow-by plynech mají tendenci být stále menší vlivem narůstajícího tlaku. To má za následek stále větší počet v plynu se nacházejících kapiček oleje, které již nelze účinně odloučit v doposud pracujících odlučovacích systémech. Vzhledem k jejich nízké hmotnosti se jedná zejména o malé olejové kapičky, procházející konvenčními pasivními odlučovacími systémy s proudem vzduchu v podstatě bez omezení. S dalším nárůstem účinnosti motoru, lze očekávat další posun směrem k menším velikostem kapiček oleje. Ve střednědobém horizontu lze očekávat reálný scénář průměrné velikosti kapiček v rozmezí $< 0,5 \mu\text{m}$.

Jelikož je velmi důležité, aby se zamezilo významnému vstupu oleje do nasávaného vzduchu, stále jemnější rozsah olejových kapiček představuje nové výzvy pro vývojáře. Na rozdíl od výše uvedených bodů je třeba rovněž upozornit na pokračující tlak ke snižování nákladů v automobilovém průmyslu, který nutí vývojáře, bez ohledu na zvyšující se nároky na funkčnost a spolehlivost, k nákladově efektivnímu vývoji komponentů, modulů a systémů.

2 Základy odvětrání klikové skříně

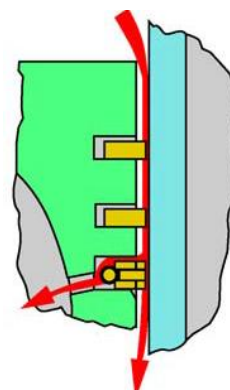
Tato kapitola se zabývá původem vzniku a typickým složením blow-by plynů, včetně důvodů jejich odvětrávání z klikové skříně a vlivů na součásti motoru.

2.1 Původ vzniku blow-by plynů

U pístových spalovacích motorů (PSM) dochází v důsledku nedokonalého utěsnění a rozdílných tlaků mezi spalovacím prostorem a skříní klikového hřídele k nežádoucím pronikům plynů mezi pístními kroužky, písty a kluznou plochou válce, nebo také prostřednictvím vodítek ventilů a ložisek turbodmychadla, je-li k dispozici. Tyto pronikající plyny se označují jako blow-by plyny nebo profuky. Profuky jsou způsobeny nedokonalým utěsněním spalovacího prostoru v průběhu provozního režimu motoru. V důsledku úniku přes pístní kroužky uniká přibližně 1 % náplně válce podél pláště pístu do klikové skříně motoru. Rozlišujeme 3 základní druhy profuků:

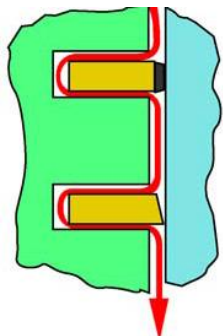
a) Mezi pístními kroužky a válcem:

Z důvodu předpětí hlavových šroubů a nepříznivě rozložených teplot může dojít k odchylkám od kruhového tvaru válce. Napomáhá tomu i skutečnost, že přizpůsobivost pístních kroužků je v tomto směru omezená, a tak odchylka od kruhového tvaru může být kompenzována pouze částečně, (viz obr. 2.1).



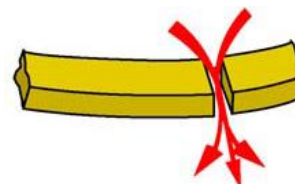
Obr. 2.1: Blow-by mezi kroužky a válcem [5]

b) Mezi pístními kroužky a drážkou pístu:



Obr. 2.2: Blow-by mezi kroužky a drážkou pístu [5]

Profuky mezi pístními kroužky a drážkou pístu jsou obecně do klikové skříně nízké. Při velmi vysokých otáčkách a nízkém zatížení motoru může však docházet k samobuzenému kmitání pístních kroužků, čímž stoupne tlak uvnitř klikové skříně a množství pronikajících plynů může být velmi vysoké, (viz obr. 2.2).



Obr. 2.3:

Blow-by přes zámek kroužku [5]

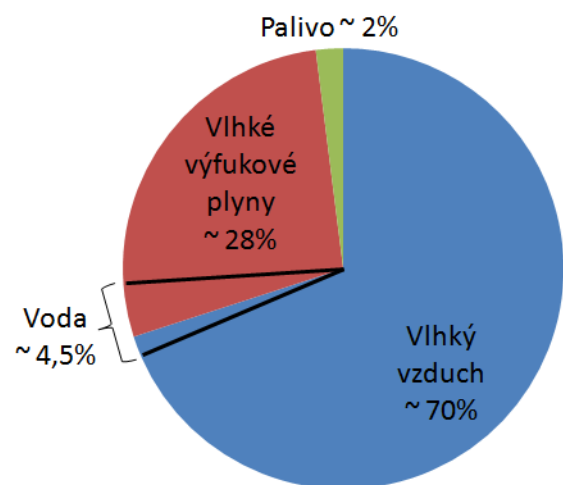
c) Přes zámek pístního kroužku

Vlivem teplotního zatížení dochází k dilataci pístních kroužků. Je-li mezera v zámku příliš malá, protilehlé strany kroužku se mohou dotknout. To je důsledkem vzniku vysoké radiální a třecí síly. Tomu je potřeba zabránit zajištěním vůle. Únik přes zámek pístního kroužku je proto nevyhnutelný, (viz obr. 2.3).

V zájmu dosažení minimálního tření a opotřebení pohyblivých částí motoru, je nutné volit vhodné kombinace materiálů a vhodné tolerance. S ohledem na dosažení předepsané životnosti motoru a minimalizace ztrát třením, je nutné precizně navrhnout potřebnou vůli pístu při konstrukci motoru. Za účelem snížení množství profuků je potřeba zabývat se výše uvedenými netěsnostmi. To mohou v budoucnu vyřešit nové kombinace materiálů a těsnících konceptů.

2.2 Typické složení blow-by plynů

Doba chodu motoru je považována za jeden z hlavních parametrů, které ovlivňují složení blow-by plynů. Obecně platí, že složení čistých blow-by plynů je možné rozdělit do tří částí → čerstvý vzduch, palivové výpary a výfukové plyny. Vodní pára je obsažena ve spalínách a v malém množství ve vlhkém vzduchu. Typické složení blow-by plynů u zážehových motorů je znázorněno na grafu 2.1. Zejména poměr jednotlivých částí závisí především na provozním stavu motoru a tvaru pístu. *Graf 2.1: Typické složení blow-by plynů u ZM [11]*



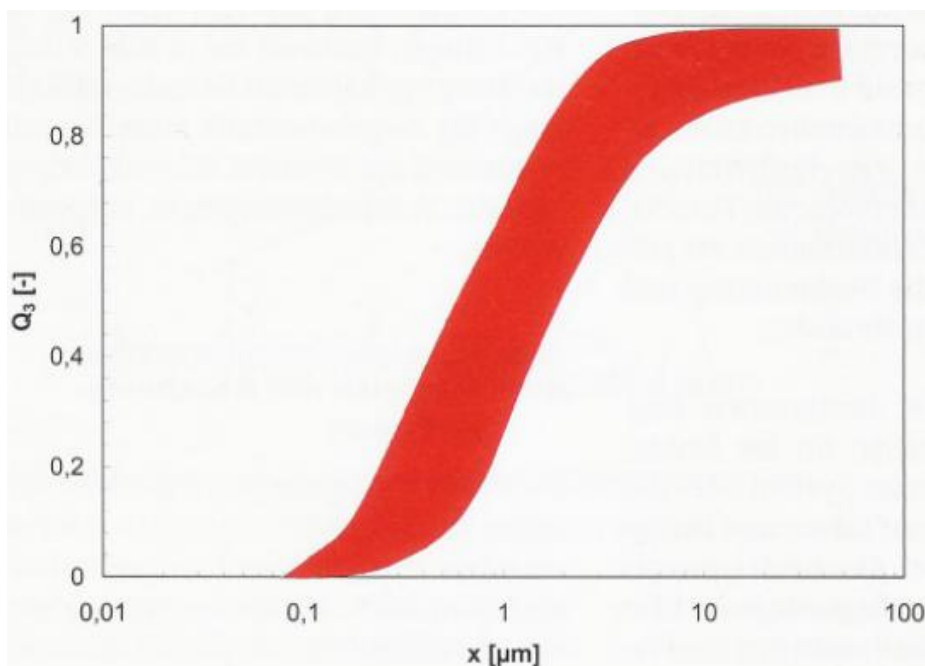
Dále se v blow-by plynech vyskytují olej a pevné látky, jako saze a částice vzniklé vlivem opotřebení dílů motoru.

Obsah oleje v blow-by plynech má několik příčin:

- Blow-by plyny jsou obohaceny olejem, který je unášen při průtoku mezerou mezi pístem a válcem.

- b) Spojením rotačního pohybu klikové a vačkové hřídele s pohybem pístů a ojníc dochází vlivem setrvačných sil a vzdušných vírů v klikové skříni ke stříkání oleje, což významně přispívá k vytváření olejové mlhy.
- c) Olejový aerosol vzniká ostřikem pístů tryskami, které napomáhají chlazení a mazání pístů.
- d) Další příčinou oleje obsaženého v blow-by plynech je pohon ventilového rozvodu řetězem, který svým pohybem generuje a rozprašuje olej.

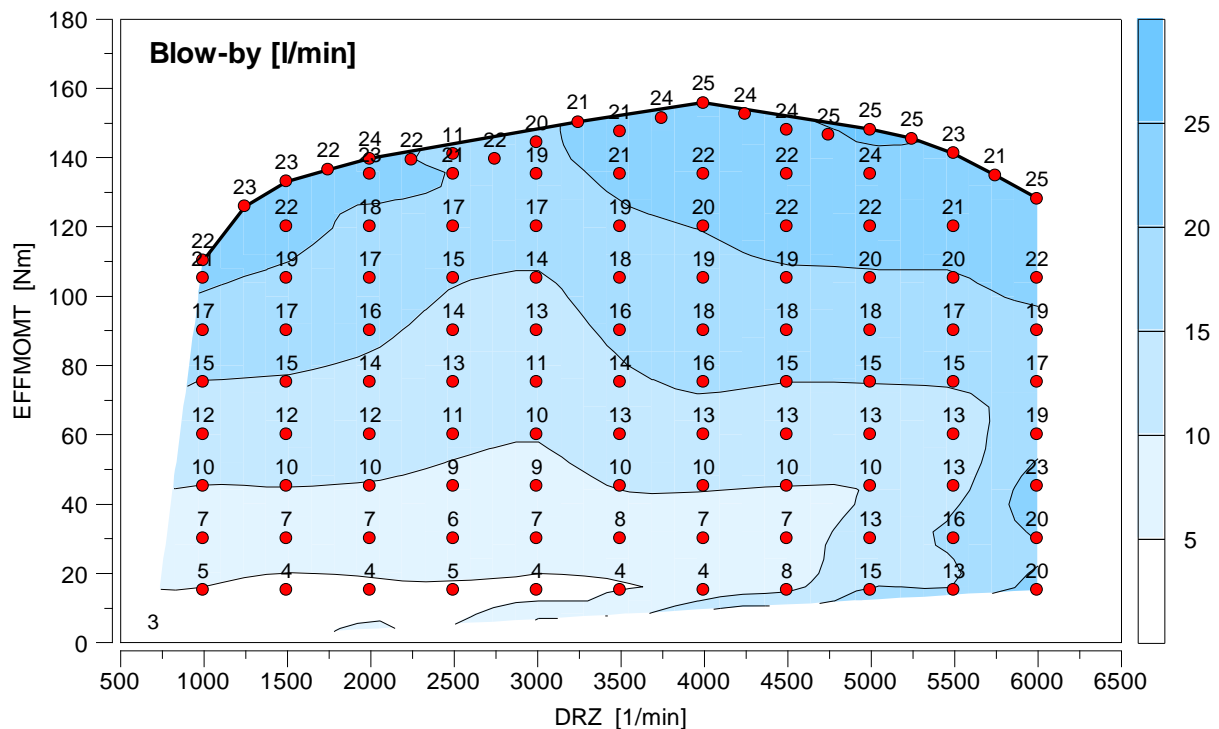
Průměrná velikost kapiček a jejich podíl na celkovém spektru se liší v závislosti na původu motorového oleje. Podíl poměrně hrubého stříkání oleje může být do značné míry ovlivněn vhodnou volbou místa odběru blow-by plynů, nebo zavedením jednoduchých opatření v motoru. Tyto převážně velmi jemné kapičky z mazacího filmu, jsou získávány ve velkém množství z klikové skříně motoru. Jejich podíl na celkovém spektru závisí na provozních podmínkách (otáčkách a zatížení motoru). Rozdělení velikosti kapiček oleje v plynu, jak je znázorněno na grafu 2.2, ukazuje, že typický střední průměr kapiček je mezi 0,5 a 2 μm nezávisle na typu motoru. Průměry kapiček se stále zmenšují tak, jak se zvyšuje střední efektivní tlak ve spalovacím prostoru a stoupá teplota oleje, resp. klesá viskozita oleje. Minimální průměr kapiček se většinou vyskytuje v rozsahu zatížení při maximálním točivém momentu motoru.



Graf 2.2: Spektrum měřených rozdělení velikosti kapiček oleje v blow-by plynech [12]

U starších motorů velmi záleží také na velikosti opotřebení dílů, především opotřebení pístů, pístních kroužků a válců, což vede ke snížení těsnícího účinku, a tím ke zvýšení blow-by plynů profukujících do klikové skříně motoru.

Na grafu 2.3 je zobrazeno množství profukujících blow-by plynů v závislosti na otáčkách a točivém momentu motoru, který je předmětem konstrukčních úprav.



Graf 2.3: Množství blow-by plynů profukujících do klikové skříně motoru EA211 1,6l MPI 81kW [7]

Všechny tyto zmíněné vlastnosti blow-by plynů kladou zvláštní požadavky na systémy odvětrání klikové skříně.

2.3 Důvody odvětrávání blow-by plynů

Kdyby se blow-by plyny z klikové skříně neodváděly, stoupal by zde tlak až do nepřípustných hodnot. Z toho důvodu je nutné, aby kliková skříň motoru byla otevřená a blow-by plyny byly odváděny. Odvětrávání plynů z klikové skříně do ovzduší není předpisy povoleno. Proto je nutné odvětrávat klikovou skříň, kdy jsou blow-by plyny přiváděny do proudu nasávaného vzduchu ke spálení. Kdyby tomu tak nebylo, stoupající tlak v klikové skříně by mohl způsobit trvalé netěsnosti v motoru, např. porušením hřídelových těsnění.

Jak již bylo popsáno v předcházející kapitole 2.2, blow-by plyny se skládají ze spalitelných složek (obsahují přibližně 2% paliva). Z tohoto pohledu je výhodné přivádění blow-by plynů zpět do nasávaného vzduchu ke spálení, protože není plýtváno palivem. Na druhé straně jsou zde také negativní účinky, protože dochází vlivem vysokého obsahu oleje v blow-by plynech k negativnímu ovlivnění emisí výfukových plynů a k dalším následkům, které budou blíže popsány v následující kapitole 2.4.

Blow-by plyny negativně ovlivňují stav oleje v olejové vaně, a tím přispívají k jeho degradaci. To vede ke kratší životnosti oleje a zhoršení schopnosti mazání. Nespálené palivo obsažené v blow-by plynech se může snadno míchat s motorovým olejem a vést tak ke snížení jeho viskozity. Kromě zvýšeného tření a opotřebení v důsledku zhoršení schopnosti mazání to přispívá i ke zvýšení hlučnosti motoru. Kromě palivových výparů blow-by plyny obsahují vodní páru, která může kondenzovat při nízkých teplotách. Vzhledem k větší hustotě vody v porovnání s olejem, kondenzující voda stéká na dno olejové vany pod hladinu oleje, kde může následně zmrznout. To je velmi nebezpečné, zejména s ohledem na funkčnost olejového čerpadla. Hlavním zdrojem vodní páry je výfukový plyn, který obsahuje vodu jako produkt spalování v závislosti na chemickém složení paliva.

2.4 Vliv odvětrávání blow-by plynů na součásti motoru

V předchozí kapitole 2.3 byly podrobně popsány důvody odvětrávání blow-by plynů z klikové skříně. Tato kapitola popisuje pozitivní a negativní vlivy odvětrávání blow-by plynů na součásti motoru.

Zvláště důležitý je vysoký obsah oleje v blow-by plynech. V případě, že se motorový olej dostane přes systém odvětrání klikové skříně do spalovacího prostoru, mazivo je nuceně spáleno a zvyšuje se obsah těžkých nespálených uhlovodíků ve výfukových plynech. Tyto produkty spalování se mohou ukládat na aktivním povrchu katalyzátoru, což má za následek, kromě již zmíněného nárůstu podílu nespálených uhlovodíků ve výfukových plynech, postupné zanášení a zhoršování účinnosti katalyzátoru.

Možným problémem při nedokonalém odvětrávání blow-by plynů do sacího traktu motoru, je tvorba úsad na sacích kanálech a ventilech. Kapičky oleje a paliva následně vytvářejí na zmíněných dílech tenkou pryskyřičnou vrstvu při provozu motoru za vysokých teplot. Zejména úsady vzniklé na sacích ventilech mohou mít vliv na správné utěsnění spalovacího prostoru při špatném dosednutí ventilu do sedla, což způsobuje pokles výkonu motoru. Při odvětrání blow-by plynů před škrticí klapku (u přeplňovaných motorů), může docházet k jejímu zanášení olejovými usazeninami, a to může vést k ovlivnění provozuschopnosti motoru. Dalším problémem u přeplňovaných motorů je usazování sazí a nečistot na horkých lopatkách turbodmychadla a v mezichladiči plnicího vzduchu. Spalování vyšších koncentrací oleje, odvětrávaných ve formě blow-by plynů do spalování, může způsobit tvorbu nadměrných úsad (typicky bílé barvy), které mohou mít za následek usazeniny na pístech, zapalovacích svíčkách, vstřikovacích tryskách a ve spalovacím prostoru. Tyto křehké porézní vrstvy se mohou odlupovat a hromadit v katalyzátoru.

Celkově vzato je odvětrávání směrem do sacího potrubí obtížné, protože vlivem již zmíněných negativních účinků může být snížena nebo narušena správná funkce ostatních dílů motoru. Je třeba zdůraznit, že jakákoliv kontaminace a tím následné poškození dílů, má přímý vliv na pomalý postupující pokles výkonnosti motoru. Z těchto důvodů jsou na systémy odvětrání klikové skříně kladeny zvláštní požadavky, kterými je potřeba se v průběhu návrhu zabývat.

3 Požadavky kladené na systémy odvětrání klikové skříně

Tato kapitola se zabývá obecnými požadavky na systémy odvětrání klikové skříně, které jsou jak technické, tak ekonomické povahy. Základním požadavkem je, aby byl systém navržen pro celoživotní provozuschopnost motoru, a aby pro dosažení celoživotní provozuschopnosti nevyžadoval žádnou údržbu nebo opravu. V následující části budou vyjmenovány specifické požadavky kladené na systémy odvětrání klikové skříně.

3.1 Regulace tlaku

Regulace podtlaku v klikové skříně je zásadní úkol pro systémy odvětrání klikové skříně. Podtlak by měl být regulován mezi -25 a -50 mbar, nejvýhodnější je udržování konstantní hodnoty podtlaku. Tlak by neměl stoupnout nad hodnotu větší než 0 mbar a zároveň by neměl klesnout pod -50 mbar vzhledem k okolnímu atmosférickému tlaku. V poslední době lze však u výrobců motorů sledovat trend ve zvyšování podtlaku až na -150 mbar. Regulace podtlaku v klikové skříně obecně souvisí s regulací množství odvětrávaných blow-by plynů. To může být realizováno různými způsoby.

Bezpečné, ale konstrukčně složitější, pokud se jedná o náklady s nimi spojené, jsou aktivní systémy odvětrání klikové skříně, které využívají externě dodávanou energii. Tu mohou zajišťovat např. speciální funkční moduly, které zahrnují další funkce, např. odlučování oleje. Typickým příkladem aktivních systémů odvětrání klikové skříně jsou odstředivky. Tyto systémy se ovšem zřídka nacházejí v automobilových spalovacích motorech pro svou výraznou složitost. Běžnější metodou je použití pasivních systémů odvětrání klikové skříně, které využívají podtlaku v sacím potrubí k odvětrávání blow-by plynů z klikové skříně.

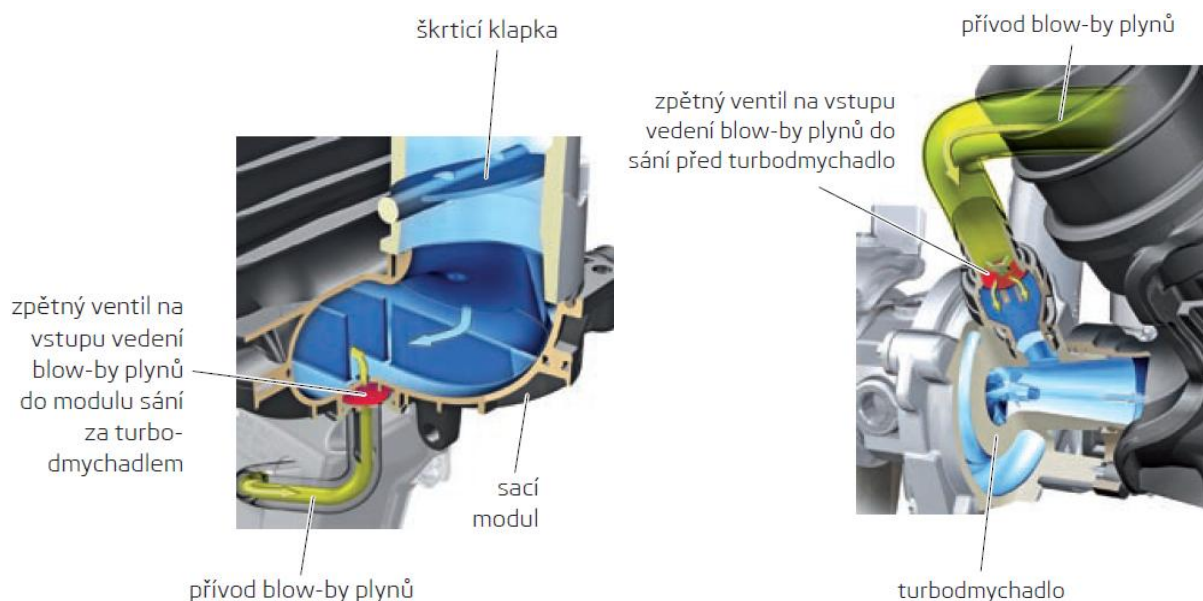
Vlastností obou systémů, která přímo nesouvisí s regulací tlaku, ale má co dočinění s chováním tlakového systému, je tlaková ztráta systému. Ta by měla být co nejmenší a souvisí s požadovaným konstantním podtlakem v klikové skříně.

3.1.1 Regulace tlaku u přeplňovaných motorů

Zvláštní požadavky na regulaci tlaku jsou kladeny u přeplňovaných motorů, které jsou stále významnější kvůli snižování rozměrů při zachování stejných výkonových parametrů (downsizing). Na rozdíl od běžných nepřepřplňovaných motorů, je systém odvětrání klikové skříně přeplňovaného motoru náročnější. Zatímco u nepřepřplňovaného motoru je v sacím potrubí trvale podtlak, u přeplňovaného motoru může být absolutní tlak až 2,5 bar. V závislosti na tlakových poměrech mezi sacím potrubím a klikovou skříní, jsou blow-by plyny odvětrávány před turbodmychadlo nebo za škrticí klapku systémem zpětných ventilů.

Pokud je při volnoběhu a provozu s částečným zatížením v sacím potrubí podtlak, blow-by plyny jsou odvětrávány do sacího potrubí pod škrticí klapku, (obr. 3.1). Přitom se zpětný ventil pod škrticí klapkou otevírá a před turbodmychadlem zavírá.

Pokud je při provozu motoru s vyšším a plným zatížením v sacím potrubí přetlak, blow-by plyny jsou odvětrávány před turbodmychadlo do sacího traktu, (obr. 3.2). Přitom se zpětný ventil před turbodmychadlem otevírá a pod škrticí klapkou zavírá.



Obr. 3.1: Odvětrání blow-by plynů pod klapku [13] Obr. 3.2: Odvětrání blow-by plynů před TBD [13]

3.2 Odlučování oleje

V kapitole 2.4 bylo vysvětleno, jaký vliv mají olejové částice obsažené v blow-by plynech na součásti motoru. V důsledku toho je jedním z nejdůležitějších úkolů systémů odvětrání klikové skříně dokonalé odloučení olejových částic z blow-by plynů a jejich navrácení zpět do olejové vany motoru. Tento požadavek znamená, že jsou zapotřebí různá opatření vedoucí k dokonalému odloučení olejových částic z blow-by plynů. Odlučovač oleje musí být nejen vysoce účinný, robustní a funkčně spolehlivý, ale i cenově výhodný. Dalšími důležitými aspekty jsou vhodná konstrukce zpětného vedení odloučeného oleje do olejové vany (pod hladinu oleje, použití sifonu či zpětného ventilu) a rozhodnutí, zda použít časově omezený díl, nebo naopak bezúdržbový díl schopný celoživotního provozu motoru.

První dělení může být na systémy aktivní a pasivní. Pasivní systémy pracují pouze na základě rozdílu tlaku a objemovém průtoku plynů. Aktivní systémy vyžadují ke svému provozu externí zdroj energie, aby byly účinné. Druhé dělení může být na hrubé ($>10\mu\text{m}$) a jemné ($<10\mu\text{m}$) odlučovače podle schopnosti odloučení částic oleje dle velikosti. Odlučovače oleje mohou být charakterizovány na základě několika různých fyzikálních principů. Nižší v tab. 3.1 je uveden seznam obecných principů a dále jsou uvedeny nejrozšířenější systémy odlučování včetně praktických výhod a nevýhod.

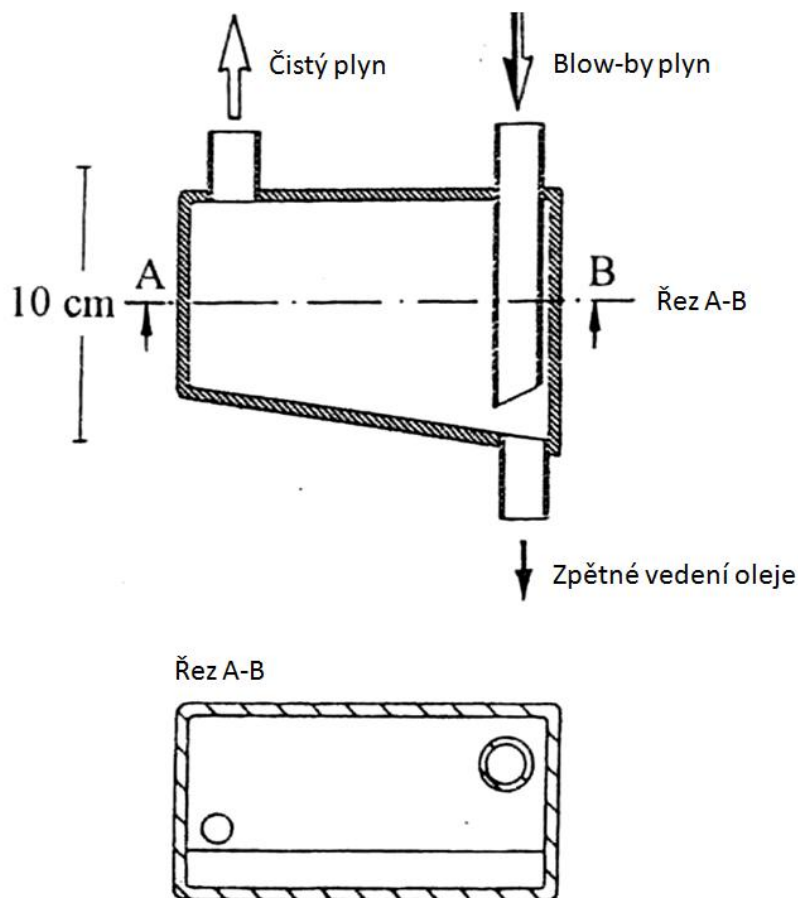
Fyzikální princip	Popis
<i>Gravitační síla</i>	Při vodorovném pohybu mají olejové kapičky tendenci být unášeny z blow-by plynů na základě vyšší hmotnosti k základně odlučovače.
<i>Elektrostatická síla</i>	Elektricky nabitě olejové kapičky jsou směřovány do elektrického pole. Tam elektrostatické přitažlivé síly působí na elektricky nabitě částice, čímž se kapičky oleje odloučí.
<i>Odstředivá síla</i>	Odvětrávané plyny jsou vedeny po kruhové dráze. Na olejové částice působí odstředivá síla větší než na molekuly plynu, což způsobí jejich odloučení.
<i>Setrvačná síla</i>	Průtok blow-by plynů je silně vychýlen. Olejové částice narážejí na přepážky a jsou odloučeny.
<i>Mezimolekulární síla</i>	Na jemné tkanině dojde ke sloučení malých kapiček oleje do větších objektů, které jsou těžší a snadněji odloučitelné.

Tab.3.1: Charakteristika způsobů odlučování oleje z blow-by plynů na základě fyzikálních principů [10]

3.2.1 Gravitační odlučovače

Způsob odloučení oleje u gravitačních odlučovačů, je založen na rozdílu hustot mezi kapalnými olejovými částicemi a plynem. Nezbytným předpokladem pro správné odloučení, je nízká rychlost proudění blow-by plynů. Pouze díky tomu je zajištěno, že v důsledku působení gravitační síly, se těžší olejové částice usazují ve spodní části nádoby odlučovače. Dimenzování gravitačních odlučovačů může být smysluplné pouze s prováděním příslušných testů na zkušebním zařízení. Gravitační odlučovače jsou levné řešení, zvláště vhodné pro odloučení hrubých částic oleje.

Za účelem dosažení dostatečného odloučení oleje, je nutný relativně velký prostor bez tlakových pulsací. Vhodné umístění může být ve víku hlavy válců nebo v bočním víku krytu rozvodů. Inženýři se však neustále potýkají s problémy v důsledku nedostatečného zástavbového prostoru, což je důvod, proč se obvykle hledají jiné alternativy umístění. Gravitační odlučovače jsou navrhovány pro celoživotní provozuschopnost motoru.



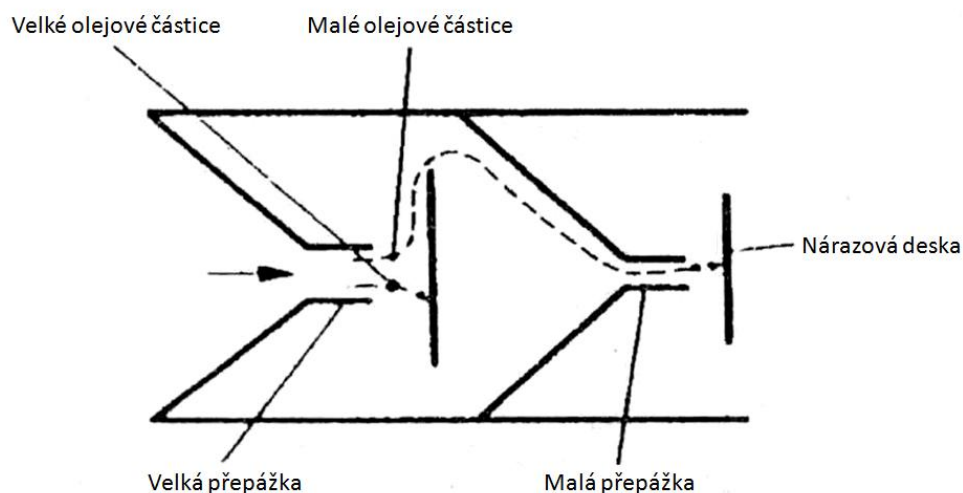
Obr. 3.3: Gravitační odlučovač [15]

3.2.2 Labyrintové odlučovače

Labyrintové odlučovače jsou jednoduché, relativně velkoobjemové odlučovače pracující na fyzikálním principu setrvačné síly. Typické vlastnosti labyrintových odlučovačů jsou nízká tlaková ztráta a účinnost odloučení závislá na velikosti částic oleje a rychlosti proudění blow-by plynů. Konstrukčně jsou řešeny přepážkami tvořící labyrintovou cestu protékajícím plynům. Olejové kapičky obsažené v plynech pak ulpívají na stěnách odlučovače, kde tvoří tenký olejový film, odkud stékají v důsledku gravitační síly a vhodnou cestou jsou dopravovány zpět do olejové vany motoru. Používají se převážně pro účely oddělení velkých olejových kapek a velkého množství oleje.

Nevýhodou labyrintových odlučovačů je riziko jejich zahlcení olejem při zvýšeném průtoku odvětrávaných plynů. Další nevýhodou je i poměrně nízká účinnost odloučení oleje, k čemuž přispívají tlakové pulsace v klikové skříni, které se u spalovacích motorů vyskytují. V praxi to znamená, že labyrintovými odlučovači není možné odloučit malé kapičky menší než 2 μm .

Odlučování na fyzikálním principu setrvačné síly je účinnější než na principu gravitační síly v nádobě bez přepážek. Labyrintové odlučovače jsou v dnešní době velmi rozšířené vzhledem ke svým malým rozměrům, nízkým nákladům a dostačujícímu odloučení oleje, a to buď samostatně, nebo v kombinaci s dalšími odlučovacími systémy rozšířenými v oblasti automobilového průmyslu. Labyrintové odlučovače jsou navrhovány pro celoživotní provozuschopnost motoru.



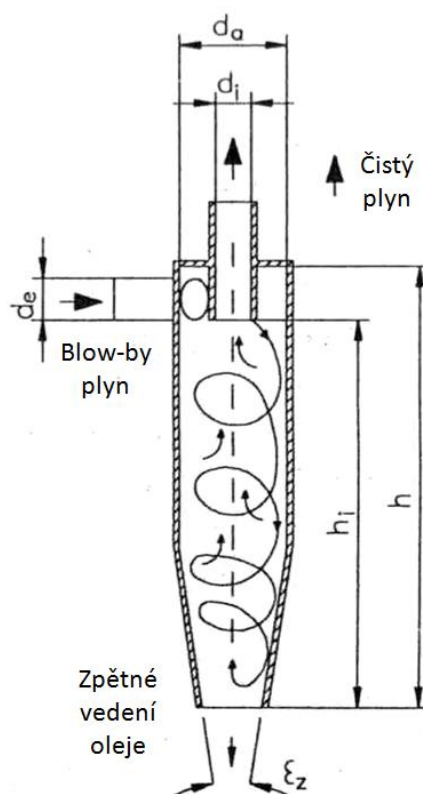
Obr. 3.4:
Labyrintový
odlučovač [15]

3.2.3 Cyklonové odlučovače

Cyklonové odlučovače pracují na fyzikálním principu odstředivé síly. Konstrukční provedení cyklonových odlučovačů uvádí blow-by plyny do rotačního pohybu v úzké kuželové nádobě, čímž vzniká odstředivá síla, která má za následek vytlačování částic oleje z blow-by plynů na stěny odlučovače. Částice oleje se usazují na stěnách a následně vlivem gravitace odtékají do výstupního otvoru na dně odlučovače. Odfiltrované blow-by plyny jsou přiváděny do sacího potrubí. Cyklonové odlučovače mohou dobře odlučovat pouze v malém rozsahu objemového průtoku, a proto je vhodné využití paralelního zapojení většího počtu připojovaných cyklonů. Při odpovídajícím provedení jsou tyto systémy schopné účinně odloučit kapičky $> 1,5\mu\text{m}$.

Cyklony vyžadují přesné vymezení pracovního prostoru, protože účinnost odlučování je úzce spojena s objemovým průtokem a tlakovou ztrátou. Jak účinnost odloučení, tak tlaková ztráta závisí v první řadě na obvodové rychlosti uvnitř cyklonu. Se zvyšující obvodovou rychlostí se jemné kapičky účinněji odloučí, ale tlaková ztráta stoupá. Zachování rychlosti průtoku a snížení geometrických rozměrů cyklonu, má za následek zvýšení účinnosti, avšak současně s tím zvýšení tlakové ztráty.

Nevýhodou cyklonových odlučovačů je snížení odlučovací schopnosti při nízké tangenciální rychlosti plynu uvnitř cyklonu, takže se dosahuje malého odstředivého zrychlení působícího na kapičky oleje obsažené v protékajících plynech. Toto řešení navíc přináší konstrukční problémy s umístěním tělesa cyklonu a odpadní větve s odloučeným olejem. Používané cyklonové odlučovače vynikají vysokou odlučovací schopností, avšak na úkor tlakové ztráty, která bývá mnohdy limitující. Cyklonové odlučovače, podobně jako gravitační i labyrintové odlučovače, jsou navrhovány pro celoživotní provozuschopnost motoru.

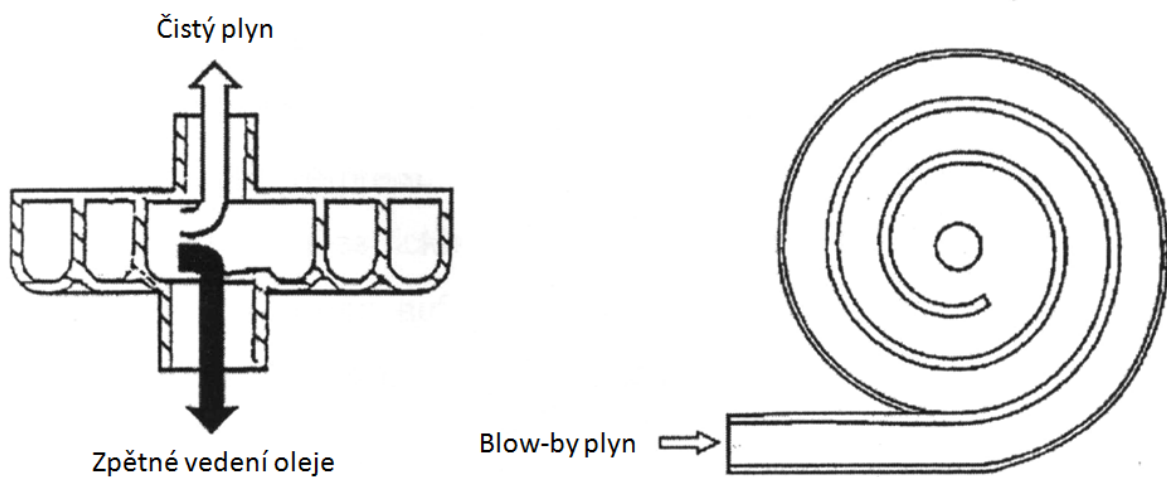


Obr. 3.5: Cyklonový odlučovač [15]

3.2.4. Spirálové odlučovače

Spirálové odlučovače pracují, stejně jako cyklonové odlučovače, na fyzikálním principu odstředivé síly. Jejich provedení je obvykle více kompaktní a ploché tak, aby mohly být začleněny do víka hlavy válců. Ve spirálových odlučovačích jsou proudící blow-by plyny usměrňovány do rotační spirály, čímž vzniká odstředivá síla, která má za následek vytlačování částic oleje na stěny odlučovače. Odloučený olej odtéká výstupním otvorem v odlučovači do hlavy válců a odfiltrované plyny jsou přiváděny zpět do sacího potrubí.

Spirálové odlučovače jsou méně vhodné pro jemné odlučování oleje. Stejně jako cyklonové odlučovače jsou navrhovány pro celoživotní provozuschopnost motoru.

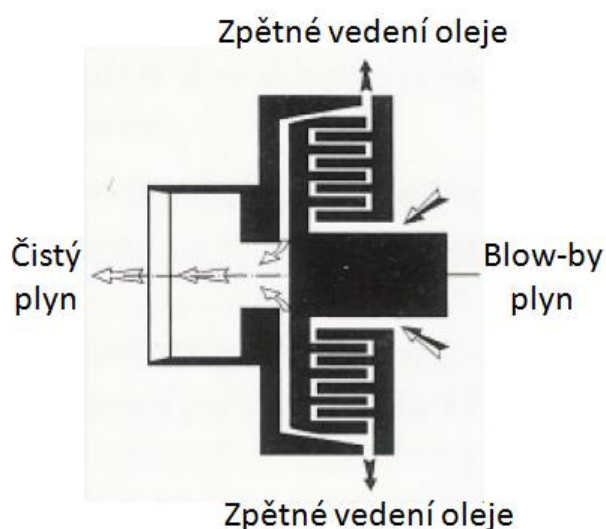


Obr. 3.6: Spirálový odlučovač [15]

3.2.5 Odstředivky

Odstředivky pracují, podobně jako cyklonové a spirálové odlučovače, na fyzikálním principu odstředivé síly. Jsou to rychle rotující součásti, ve kterých se jemné kapičky oleje, vzhledem ke své vyšší hustotě, odlučují z proudu blow-by plynů ve vyvíjeném odstředivém poli. Účinnost odloučení závisí na průměru, resp. hmotnosti kapiček, stejně jako tlaková ztráta je závislá na rychlosti průtoku plynů a úhlové rychlosti otáčení odstředivky. Odstředivky tak nabízejí největší potenciál, jelikož umožňují maximální účinnost odloučení, na malém prostoru za přijatelných rychlostí otáčení (5000 - 8000 ot/min). Další výhodou odstředivek je nejmenší náročnost z hlediska zpětného vedení odloučeného oleje.

Nevýhodou odstředivek je nezbytný externí zdroj energie pro jejich provoz, protože požadovaných vysokých otáček nemůže být dosaženo jinak než externím pohonem (např. mechanicky od klikové hřídele, hydraulicky (obvykle mazacím olejem), pneumaticky nebo elektricky). Zhodnocení jednotlivých druhů pohonů je uvedeno v tab. 3.2. Další nevýhody jsou obtíže spojené s tolerancemi, správným vyvážením rotoru a zvýšenou hlučností za provozu. Odstředivky jsou navrhovány pro celoživotní provozuschopnost motoru.



Obr. 3.7: Odstředivka [12]

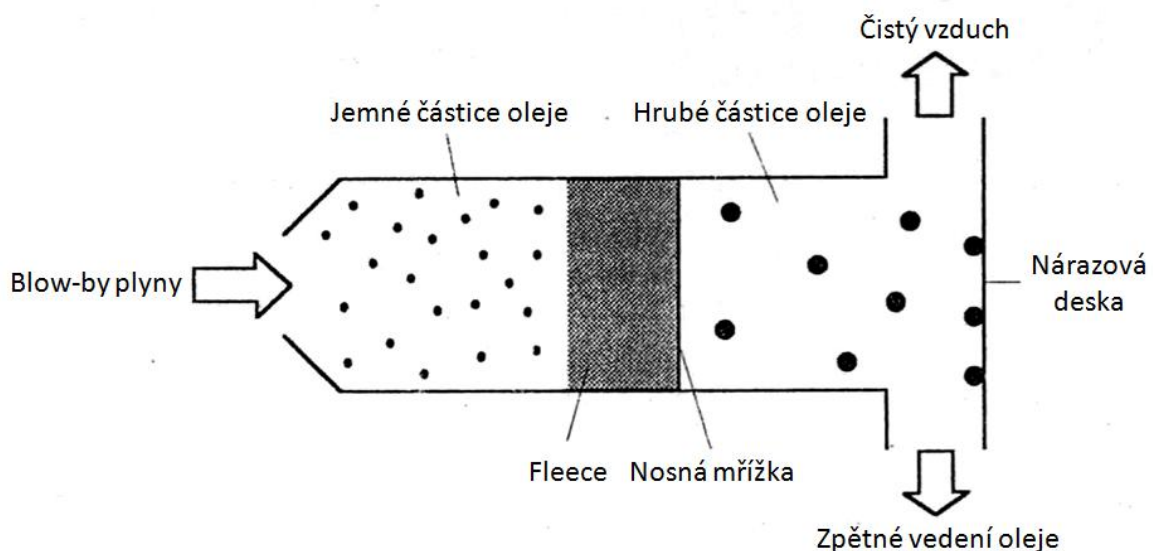
Druhy pohonů / vlastnosti	Elektrický	Hydraulický	Pneumatický	Mechanický
<i>Použitelnost</i>	++	0	-	-
<i>Spotřeba energie / účinnost</i>	+	0	0	+
<i>Regulace / možnost řízení</i>	++	-	-	-
<i>Možnost přizpůsobení</i>	+	0	0	-
<i>Hmotnost</i>	-	0	+	+
<i>Hluk</i>	+	0	0	+
<i>Náklady</i>	0	+	+	0
<i>Hodnocení</i>	++ velmi dobrý, + dobrý, 0 dostatečný, - nedostatečný			

Tab. 3.2: Zhodnocení jednotlivých druhů pohonů odstředivek [4]

3.2.6 Vláknové odlučovače

Vláknové odlučovače jsou převážně odlučovače difuzní, u kterých závisí na vhodném výběru fleecce materiálu. Vhodnými fleecce materiály jsou polyesterová a polypropylenová vlákna, s průměry vláken v rozmezí 15 až 50 μm . Požadavky kladené na fleecce materiály jsou vysoké, protože musí odolávat agresivním složkám blow-by plynů a vysokým teplotám až do 150°C. Mohou odloučit kapičky oleje >1 μm . Odvětrávaný plyn zasáhne vrstvu jemných vláken a olejové částice se průchodem spojí a následně odloučí, takže filtr opouští vyčištěný plyn. Odloučený olej splyne s vlákny a poté je odveden gravitační silou do spodní části odlučovače. Důležitými parametry, ovlivňujícími účinnost odlučování, jsou rychlost průtoku plynů a geometrické rozměry vláken, jako jsou délky a průměry vláken a jejich pórovitost.

Nevýhodou vláknovcých odlučovačů je zvyšování tlakové ztráty v důsledku zvyšujících se průtoků. Tlaková ztráta poté roste s množstvím nečistot obsažených v blow-by plynech. Zejména u vznětových motorů se může tlaková ztráta zvýšit vzhledem k množství sazí obsažených v oleji. V důsledku toho může docházet k funkčním ztrátám, jako jsou zhoršený odvod oleje nebo zvýšení tlaku v klikové skříni. Ve většině případů je nutné jemná vlákna fleecce materiálů po určité době vyměnit, protože se póry v těchto materiálech mají tendenci ucpávat, když jsou vystaveny vysoké koncentraci sazí. Vláknové odlučovače jsou proto koncipovány jako výměnné, nebo musí být jejich části dimenzovány s dostatečnou bezpečností.

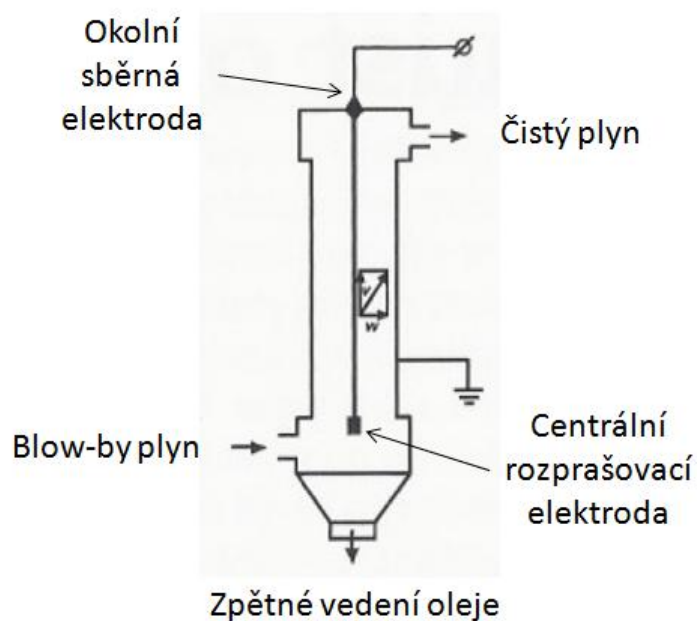


Obr. 3.8: Vláknovcý odlučovač [15]

3.2.7 Elektrostatické odlučovače

Elektrostatické odlučovače pracují na fyzikálním principu elektrostatické síly. Za účelem dosažení požadovaného odlučovacího účinku, jsou částice nebo kapičky oleje nabity elektrickým nábojem centrální rozprašovací elektrodou. Ionizované kapičky se pohybují v elektrickém poli směrem k okolní sběrné elektrodě a tam se odloučí. Charakteristické vlastnosti elektrostatických odlučovačů jsou vysoká účinnost odloučení v rozsahu malých rozměrů částic a nízká tlaková ztráta. Pro účinné odloučení je nezbytný zdroj vysokého napájecího napětí, pohybující se v rozmezí 5 až 15 kV. S rostoucí rychlostí proudění klesá účinnost odloučení.

Nevýhodou elektrostatických odlučovačů jsou časté problémy spojené s usazováním motorového oleje a blow-by plynů na elektrodách. Dále se vyskytují obtíže v trvalém a spolehlivém zásobování vysokým napájecím napětím, stejně jako nezbytné bezpečnostní aspekty. To se odráží na finančních nákladech takového systému odlučování. Důvody, proč elektrostatické odlučovače dosud nejsou využívány v oblasti automobilového průmyslu, jsou částečně v důsledku požadavku vysokého napájecího napětí a hrozícího nebezpečí vznícení palivových částic obsažených v blow-by plynech.



Obr. 3.9: Elektrostatický odlučovač [12]

3.2.8 Zhodnocení systémů odlučování oleje

Je nutné poznamenat, že většina z výše uvedených systémů, jsou na trhu ve spojení hrubý a jemný odlučovač (např. labyrint a cyklon), aby bylo dosaženo minimálně mezních hodnot odloučení, které ještě mohou projít přes tyto odlučovače (udává se maximální přípustná propustnost oleje 1-2 g/h). V následující tab. 3.3 jsou zhodnoceny vybrané systémy odlučování oleje podle svých vlastností.

Druhy odlučovačů / vlastnosti	Labyrintový odlučovač	Cyklonový odlučovač	Odstředivka	Vláknový odlučovač	Elektrostatic. odlučovač
<i>Účinnost odloučení</i>	0	0	++	+	++
<i>Tlaková ztráta</i>	0	0	++	0	++
<i>Zástavbový prostor</i>	+	++	+	+	0
<i>Citlivost na obj. průtok</i>	0	-	+	0	+
<i>Celoživotní součást</i>	Ano	Ano	Ano	Ne	Ano
<i>Náklady / výdaje</i>	+	++	-	0	-
<i>Pomocná energie</i>	Ne	Ne	Ano	Ne	Ano
<i>Čas potřebný pro systémovou integraci</i>	+	+	0	+	0
<i>Požadavky na integraci</i>	+	+	+	+	+
<i>Možnost integrace do modulu</i>	++	++	+	++	+
<i>Stav vývoje</i>	++	++	0	+	0
<i>Hodnocení</i>	++ velmi dobrý, + dobrý, 0 dostatečný, - nedostatečný				

Tab. 3.3: Zhodnocení systémů odlučování oleje [1, 3, 12, 14]

3.3 Volba vhodného místa odběru blow-by plynů

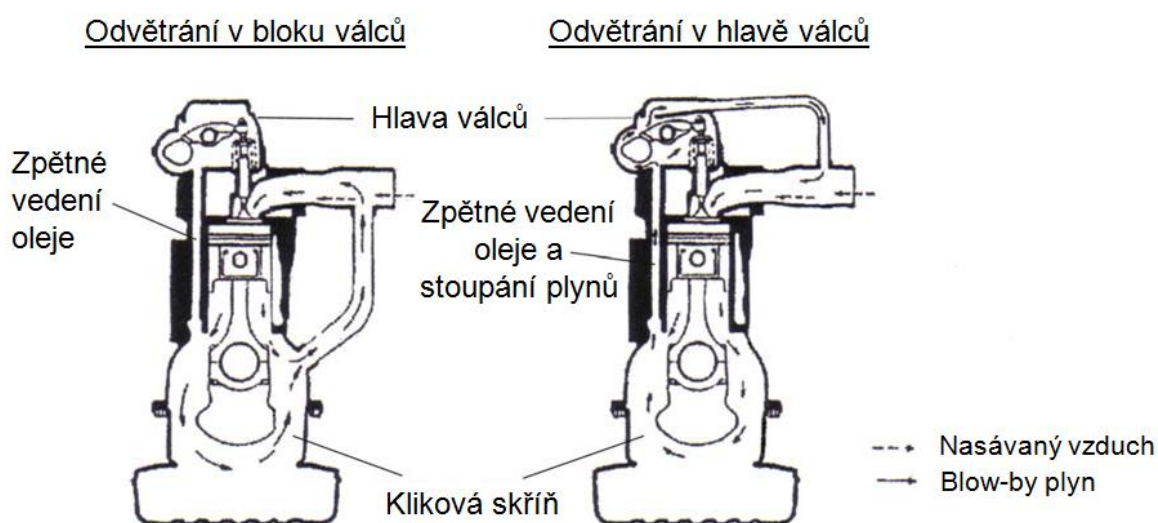
Účinnost systémů odvětrání klikové skříně má rozhodující vliv na vhodný výběr místa odběru blow-by plynů. Místo by mělo být chráněno před stříkajícím olejem vlivem pohybujících se dílů motoru a také nezávislé na tlakových pulsacích, které jsou způsobeny vratným pohybem pístů a přetržitým nasáváním vzduchu do válců. Odlučovač oleje je závislý na okamžitém průtoku plynů a nadměrné pulsace mohou ohrozit jeho funkci. Dále jsou popsána vhodná místa k odběru blow-by plynů.

3.3.1 Odvětrání v bloku válců

U systému odvětrání v bloku válců se blow-by plyny odebírají přímo z klikové skříně motoru. V tomto případě je výhodné odebírat blow-by plyny v místě, které nepřichází do styku se stříkajícím olejem vrhaným rotačním pohybem klikové hřídele. Místo odběru blow-by plynů by mělo být tak vysoko, jak jen je to možné, aby nedošlo k zaplavení olejem z olejové vany. Výhodami odběru blow-by plynů na bloku válců jsou často dostupný montážní prostor a poměrně nízké výrobní náklady na klikovou skříň motoru. Nevýhodami jsou hrozící nebezpečí zahlcení olejem (např. při akceleraci, brzdění nebo v zatáčkách) a tlakové pulsace vyskytující se v klikové skříni.

3.3.2 Odvětrání v hlavě válců

U systému odvětrání v hlavě válců jsou blow-by plyny odebírány přímo ve víku hlavy válců. Do odlučovače oleje, umístěného přímo ve víku hlavy válců, mohou být integrovány další smysluplné prvky (např. tlakové regulační a zpětné ventily, plnicí otvor oleje apod.), tvořící jeden společný modul. Výhodou odvětrání v horní části motoru je, že je odlučovač do značné míry osvobozen od tlakových pulsací. Nevýhodou systému odvětrání v hlavě válců je, že kanál, kterým stoupají blow-by plyny z klikové skříně, slouží obvykle zároveň k zpětnému vedení oleje do olejové vany, což může mít za následek při velkých rychlostech plynů, strhávání oleje ve směru plynů a může docházet k velmi silnému vstupu oleje do odlučovače.



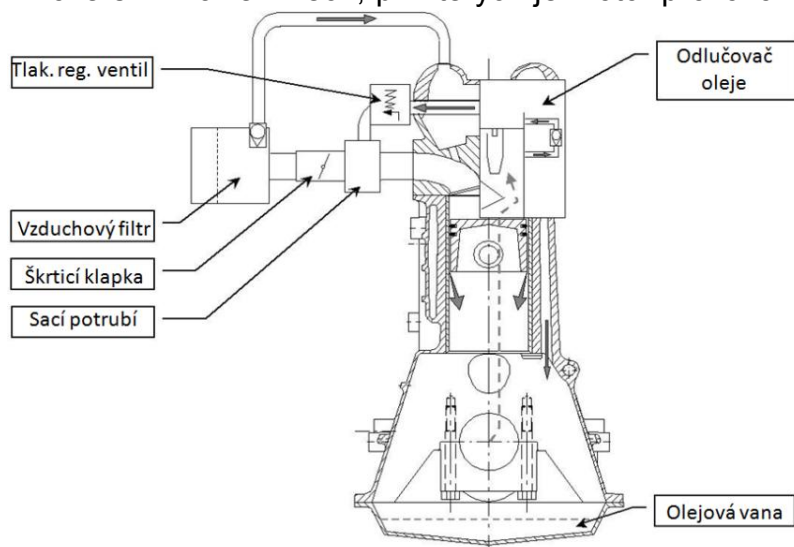
Obr. 3.10: Porovnání systémů odvětrání v bloku válců a v hlavě válců [10]

3.4 Minimalizace rizika zamrznutí

System odvětrání klikové skříně je, vzhledem k obsahu vody v klikové skříně, velmi citlivý na funkční poruchy způsobené zamrznutím. Tyto funkční poruchy mohou dočasně způsobit ztrátu těsnosti, únik oleje a případné vážné poškození motoru. Z toho důvodu je nutné zajistit, aby systém zůstal plně funkční i v extrémně chladných podmínkách. Kritickými místy v systému odvětrání klikové skříně jsou přepážky, oblouky, ohyby a tlakové regulační ventily. V těchto místech vodní pára snadno kondenzuje a následně mrzne. Zvláště kritické jsou ty součásti, u kterých dochází přímo k profukování blow-by plyny, což způsobuje zvýšené riziko vzniku námrazy.

3.4.1 PCV systém

V poslední době se v sériové výrobě přešlo na velmi efektivní a široce použitelný způsob, jak snížit riziko kondenzace vody v klikové skříně. Tato metoda je založena na snížení rosného bodu pomocí zředění blow-by plynů čerstvým vzduchem. Promísení blow-by plynů s čerstvým vzduchem zaručuje relativní snížení obsahu vody a paliva v plynu, což vede k odpařování vody a paliva z oleje. Za tímto účelem musí být tlak v klikové skříně řízen tak, aby byl mírně pod atmosférickým tlakem, resp. za filtrační vložkou, což umožní proudění čerstvého vzduchu do klikové skříně. Tento princip je nazýván zkratkou PCV (Positive Crankcase Ventilation) a značí pozitivní odvětrání klikové skříně, (obr. 3.11). Navzdory této metodě však nelze úplně vyloučit hrozbu zamrznutí. Obecně platí, že záleží na množství vodní páry v klikové skříně a režimech, při kterých je motor provozován (nejhorší jsou krátké cesty



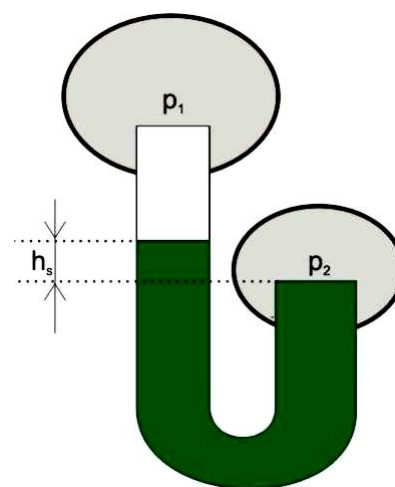
se studenými starty). Nevýhodou je rychlejší stárnutí oleje v důsledku zvýšeného přívodu kyslíku do klikové skříně. Ve výsledku je to však výhodnější, protože kontaminace palivem je horší.

Obr. 3.11: Funkční schéma systému PCV [10]

3.5 Konstrukce zpětného vedení oleje

Odlučovací systémy, popsané v kapitole 3.2, oddělují kapičky oleje z proudu blow-by plynů. Odloučený olej, ve směru proti proudění nevyčištěných plynů, odtéká do hlavy válců nebo do olejové vany motoru. To zahrnuje riziko opakovaného strhávání oleje zpět proudem blow-by plynů. Proto je požadováno oddělené zpětné vedení oleje. V souladu s tím musí být systém vytvořen tak, aby odlučovač zabránil zpětnému nasávání oleje nevyčištěnými blow-by plyny, a aby zároveň umožňoval odtékání oleje z odlučovače. Proto je nutné najít způsob, jak průběžně vypouštět olej mezi dvěma prostory o různých tlacích p_1 a p_2 .

Dobře fungující a nákladově přijatelnou variantou, která tyto požadavky splňuje, je sifon (obr. 3.12). Sloupce kapaliny v sifonu musí být dostatečně vysoké tak, aby se vyrovnával tlakový rozdíl, který existuje mezi dvěma rameny sifonu. Jsou-li tyto sloupce kapaliny vyšší v důsledku stále přitékajícího oleje, vyteče pouze tolik oleje, kolik bylo potřeba k dosažení rovnovážného stavu hladin. Požadovaná výška h_s ve směru gravitační síly g se získá ze známé rovnice rozdílu tlaků Δp :



Obr. 3.12: Sifon [15]

$$\Delta p = h_s \times \rho_{ol} \times g \Rightarrow h_s = \frac{\Delta p}{\rho_{ol} \times g}, \rho_{ol} = 858 \frac{kg}{m^3}$$

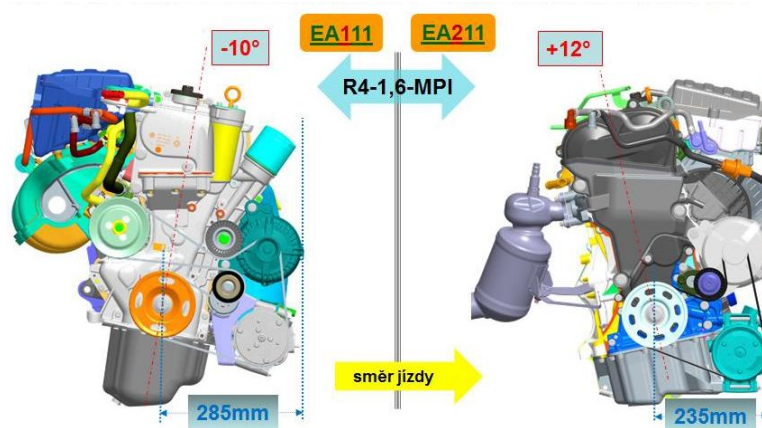
Pro např. v labyrintovém odlučovači max. rozdíl tlaků $\Delta p = 5$ mbar odpovídá výška sloupce $h_s = 60$ mm. V případě, že se takový sifon nevejde pod víko hlavy válců, musí být toto zpětné vedení odlito do klikové skříně nebo vedeno vně motoru. Alternativy k sifonu jsou:

- Konstrukce se zpětným ventilem jakéhokoliv typu. Při určitém stavu oleje, díky hmotnosti oleje, zůstane ventil tak dlouho otevřený, dokud zpětná síla ventilu nebude větší než tíha oleje. Nevýhodou je zanášení usazeninami z oleje.
- Zpětné vedení do olejové vany pod hladinu oleje. Nevýhodou je, že se menší olejové vany mohou vyprázdnit, když dojde k naklonění hladiny oleje při prudkém zrychlení či zpomalení během jízdy automobilu.

4 Motor EA211 1,6l MPI 81kW

Předmětem konstrukčních úprav je zážehový řadový čtyřválcový motor o objemu 1,6l s nepřímým vstřikováním paliva MPI a přirozeným sáním o maximálním výkonu 81kW s rozvody 2xOHC poháněnými ozubeným řemenem, chlazený kapalinou a uložený ve voze vpředu napříč. Motor byl vyvinut koncernem VW ve spolupráci se Škoda Auto, začal se vyrábět postupně v Číně, Brazílii, Mladé Boleslavi, Rusku a je určený pro mimoevropské trhy (Čína, Rusko, Brazílie,...), kde je vyráběn a nasazován pro vozy koncernu Volkswagen (Škoda, VW, Seat).

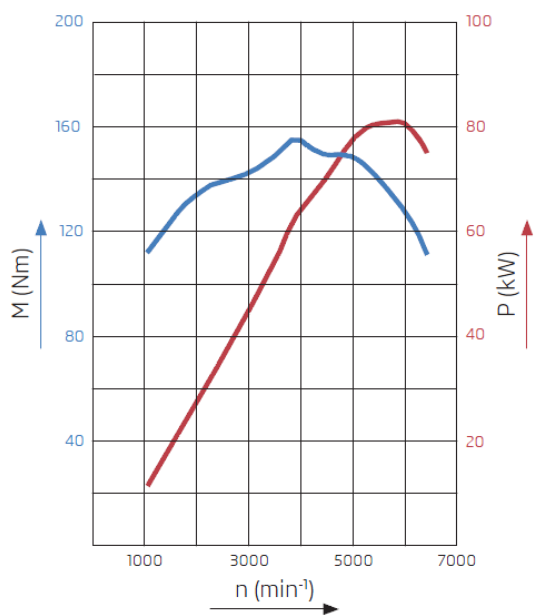
Motor vychází z konstrukční řady EA211, jejímiž hlavními konstrukčními rozdíly oproti starší řadě EA111, je integrované chlazené výfukové potrubí v hlavě válců, použití rozvodového ozubeného řemenu (oproti použití rozvodového ozubeného řetězu u řady EA111), sjednocení čtyřventilové techniky v rámci celé řady motorů EA211 a všechny motory EA211 pro nové platformy jsou jednotně nakloněny o 12 ° vzad. U všech jsou výfukové svody vyvedeny také vzad (obr. 4.1).



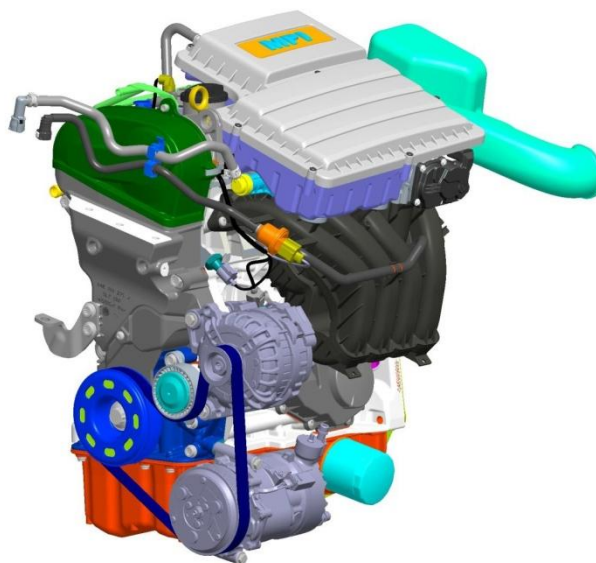
Obr. 4.1: Porovnání zástaveb EA111 a EA211 ve vozidle [13]

Kód motoru	CWVA
Konstrukce	řadový motor
Počet válců	4
Počet ventilů na válec	4
Zdvihový objem	1598 cm ³
Vrtání	76,5 mm
Zdvih	86,9 mm
Rozteč válců	82 mm
Kompresní poměr	10,5 : 1
Maximální výkon	81 kW při 5800 min ⁻¹
Maximální točivý moment	155 Nm při 3800 min ⁻¹
Tvorba směsi	elektronicky řízené nepřímé sekvenční vstřikování paliva
Mazání	tlakové oběžné s plnopřítokovým olejovým filtrem
Palivo	bezolovnatý benzin o. č. 95 (VM)
Emisní norma	EU5

Tab. 4.1: Technické parametry motoru 1,6l MPI 81kW [13]



Graf 4.1: Vnější otáčková charakteristika motoru EA211 1,6l MPI 81 kW [13]



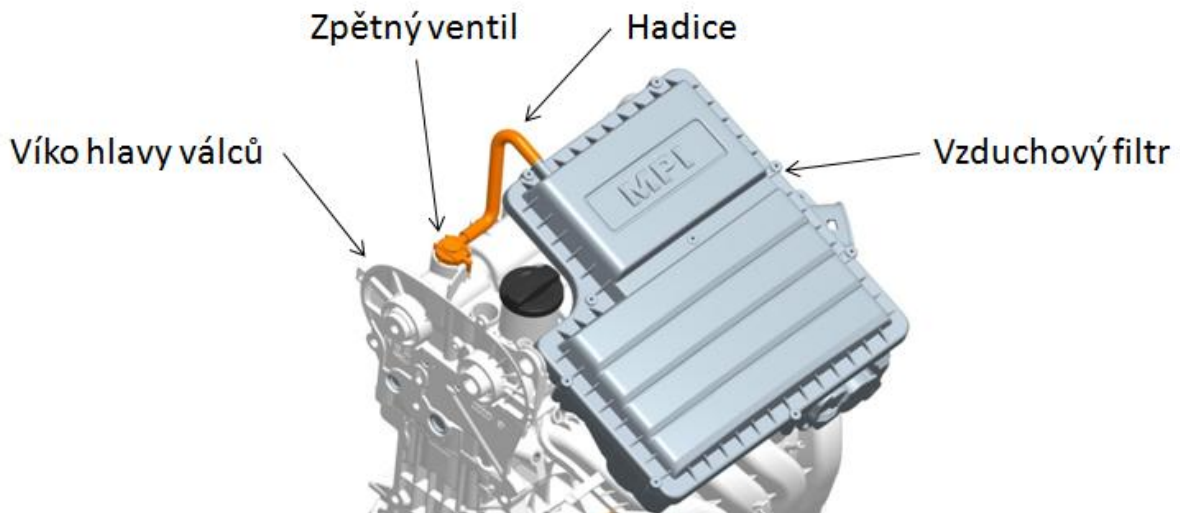
Obr. 4.2: Motor EA211 1,6l MPI 81kW [13]

4.1 Popis systému odvětrání klikové skříně

U motoru EA211 1,6l MPI 81kW je využito systému odvětrání v bloku válců, kde se blow-by plyny odebírají přímo z klikové skříně. Jedná se o pasivní systém, u kterého je v klikové skříně udržován podtlak díky podtlaku v sacím potrubí.

Při dostatečném podtlaku v klikové skříně je od vzduchového filtru přiváděn do motoru čerstvý vzduch, který proudí přes odlučovač oleje společně s blow-by plyny. Blow-by plyny s čerstvým vzduchem jsou odvětrávány z klikové skříně a proudí komorovým systémem integrovaným v bloku válců, kde jsou zbaveny částic oleje. Po odloučení oleje jsou plyny odváděny zpět do oblasti sání a odloučený olej zpět do olejové vany.

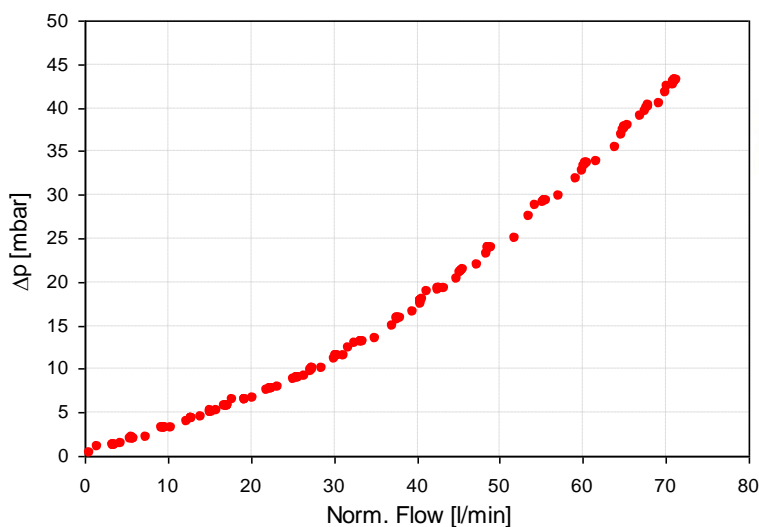
V následující části této kapitoly bude podrobně popsán způsob provětrání klikové skříně, odlučování oleje, odvětrání plynů po odloučení oleje a zpětné vedení odloučeného oleje.



Obr. 4.3: Provětrání klikové skříně čerstvým vzduchem [7]

4.1.1 Provětrání klikové skříně

Vstupní otvor pro čerstvý vzduch se nachází ve víku hlavy válců na straně výfukové vačkové hřídele. Ve vstupním otvoru se nachází zpětný ventil, který je spojen s hadicí přivádějící čerstvý vzduch od vzduchového filtru (obr. 4.3). Zpětný ventil zajišťuje jednosměrné proudění a dále upravuje (omezuje) množství přisávaného vzduchu kalibrovaným otvorem pro odvádění vlhkosti z vnitřní části motoru a olejové vany (kondenzovaná voda a frakce paliva). K tomu musí zpětný ventil otevřít při nejmenších podtlacích v motoru a naopak zabránit znečištění vzduchového filtru olejovou mlhou nebo nefiltrovanými blow-by plyny (graf 4.2).



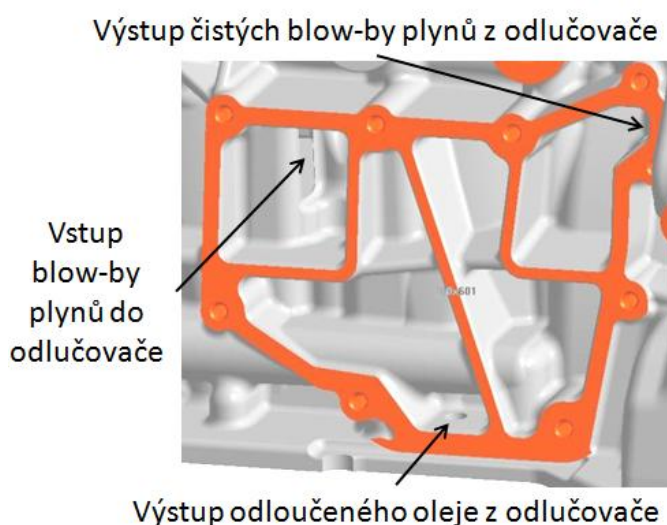
Graf 4.2: Charakteristika zpětného ventilu [7, 13]

4.1.2 Odlučování oleje

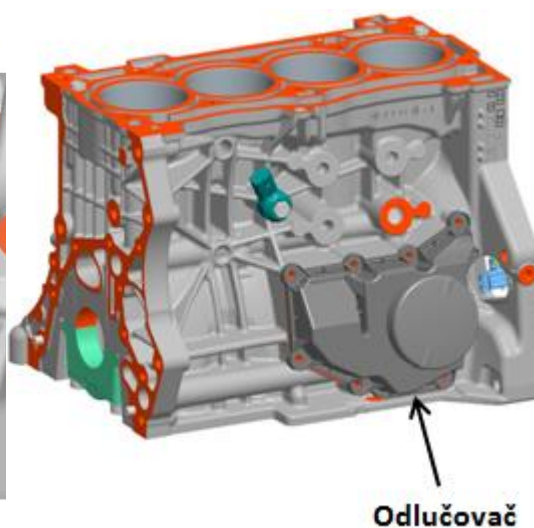
Blow-by plyny obsahují nežádoucí částice oleje, které je nutné účinně odloučit. Toho je docíleno použitím odlučovače oleje, který je částečně integrovaný do bloku válců. První část odlučovače je tvořena plastovým krytem (obr. 4.5), který je přišroubovaný k bloku válců šrouby 9x M6 a nachází se nad olejovým filtrem a pod chladičem oleje. Druhá část odlučovače je integrována do bloku válců (obr. 4.4).

Čerstvý vzduch smísený s blow-by plyny, obsahující částice oleje, proudí odlučovačem, který v první fázi tvoří labyrintovou cestu protékajícímu plynu pomocí přepážek. Plyny svou rychlostí narážejí do přepážek, díky nimž dochází k fyzickému působení setrvačné síly na olejové částice v plynu a k jejich oddělení. Částice oleje pak ulpívají na stěnách, odkud působením gravitační síly stékají do spodní části odlučovače, kde se nachází odpadní kanál vedoucí zpět do vany motoru pod hladinu oleje.

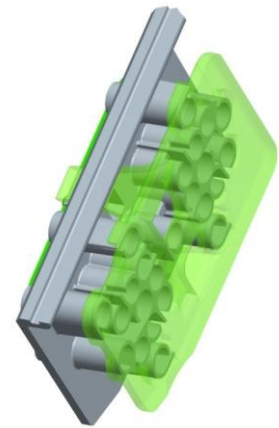
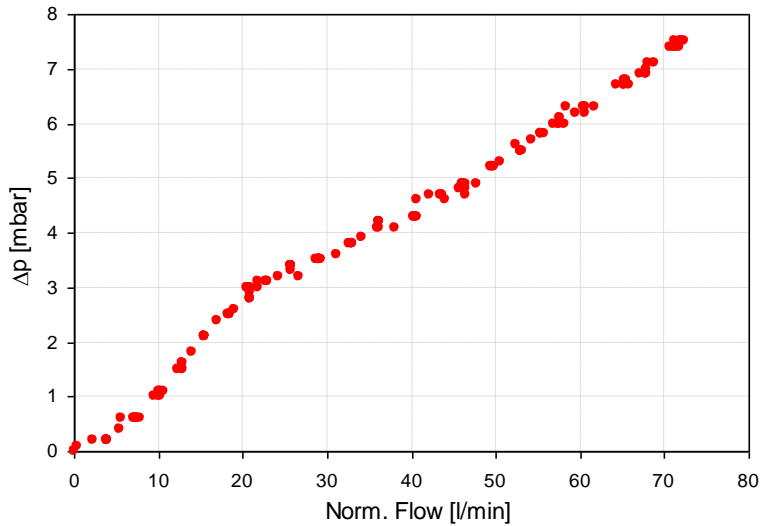
Malé částice oleje obsažené v plynu, které se nebyly schopné odloučit v první fázi, jsou ve druhé fázi odlučovány průchodem přes tzv. mini cyklony, které oddělují částice oleje z nasávaných blow-by plynů na principu vzniku odstředivé síly. Dle přiloženého grafu 4.3 stoupá tlaková ztráta mini cyklonů se vzrůstajícím objemovým průtokem plynů, což je typická vlastnost cyklonových odlučovačů. Z toho důvodu jsou na cyklonech pružné planžety, které postupně otevírají vstup do cyklonů – viz zlom na křivce na grafu 4.3.



Obr. 4.4: Část odlučovače integrovaná do bloku válců [7]

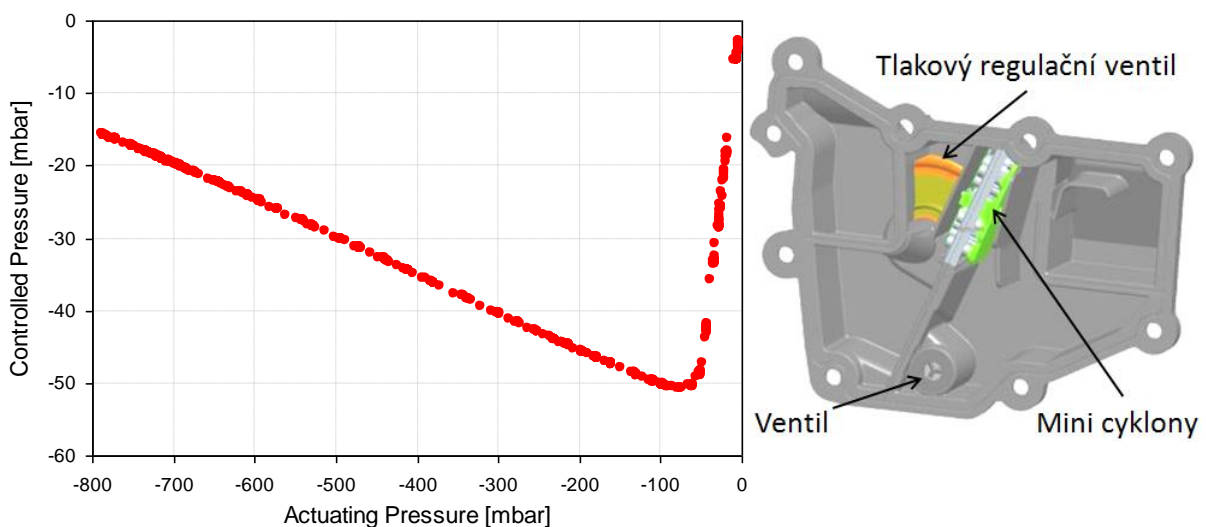


Obr. 4.5: Plastový kryt odlučovače [7]



Graf 4.3: Tlaková ztráta mini cyklonů [7]

Součástí plastového krytu odlučovače je tlakový regulační ventil, který zajišťuje v klikové skříni pokud možno stálý podtlak a umožňuje regulaci průtoku odvětrávaných plynů. Ventil je tvořen membránou (\varnothing 72 mm), tuhým kotoučem (\varnothing 58 mm), tlačnou pružinou a víkem. S rostoucím podtlakem v sacím potrubí by rostl i podtlak v klikové skříni. Aby se tak nestalo, mění se ve ventilu velikost průřezu, kterým proudí vyčištěné plyny z klikové skříně do sacího potrubí. Průřez se mění v závislosti na tlaku tak, aby byl v klikové skříni udržován podtlak v rozpětí žadoucích hodnot (přibližně od -15 mbar až do -50 mbar dle přiloženého grafu 4.4).



Graf 4.4: Charakteristika regulace podtlaku v klikové skříni v závislosti na podtlaku v sacím potrubí [7]

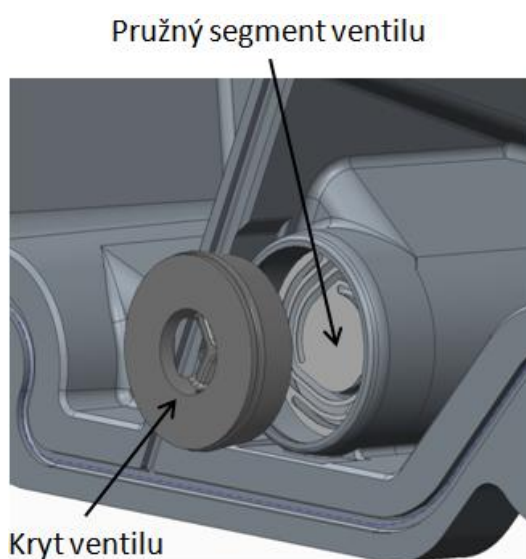
4.1.3 Odvětrání plynů po odloučení oleje

Plyny po průchodu odlučovačem a odloučení oleje proudí vzestupným kanálem integrovaným v bloku a hlavě válců zpět do sacího potrubí pod škrticí klapku, kde se mísí s čerstvým nasávaným vzduchem dopravovaným do jednotlivých válců motoru ke spálení (obr. 4.7).

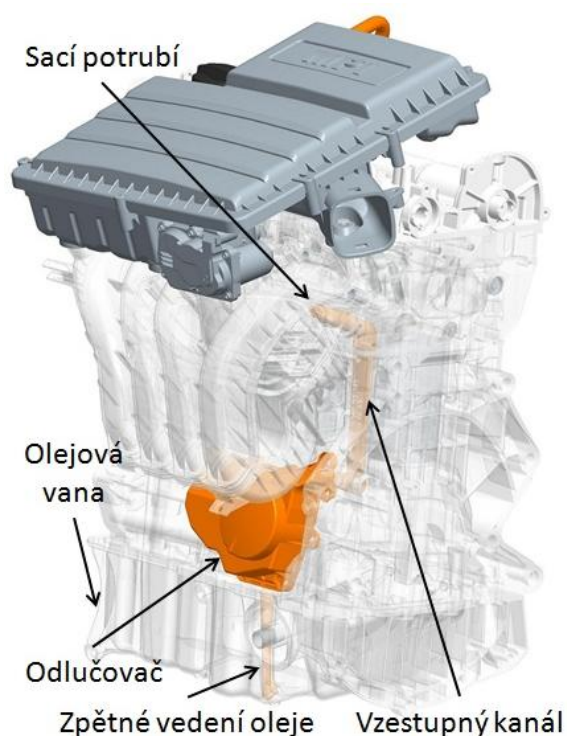
4.1.4 Zpětné vedení odloučeného oleje

V první fázi odtéká odloučený olej z blow-by plynů nepřetržitě ze spodní části odlučovače prostřednictvím zpětného vedení přes odpadní olejové kanály v bloku válců a ve vaně motoru pod hladinu oleje (obr. 4.7). Vývrt odpadního olejového kanálu v bloku válců a v olejové vaně má $\varnothing 8,5$ mm.

V druhé fázi je odloučený olej akumulován v komoře odlučovače za mini cyklony, dokud nedojde k odstavení motoru. Poté je teprve olej odpuštěn do olejové vany skrz ventil, vlivem tíhy oleje působící na pružný segment o $\varnothing 17,8$ mm dle detailu na obr. 4.6. Důvodem toho je tlakový rozdíl na mini cyklonech při provozu motoru.



Obr. 4.6: Detail ventilu s pružným segmentem



Obr. 4.7: Odvětrání plynů a zpětné vedení oleje [7]

4.2 Klady a zápory současného systému odvětrání klikové skříně

Umístění odlučovače na bloku válců zajišťuje dobré teplotní podmínky pro odolnost proti zamrznutí při provozu motoru za nízkých teplot v zimních měsících či v arktických oblastech.

Výhodou je zde také vhodné řešení odvádění vyčištěných plynů vnitřkem motoru prostřednictvím kanálů v bloku a hlavě válců. To jednak zajišťuje zmíněnou zvýšenou odolnost proti zamrznutí, a také výhody spojené s ekologickým hlediskem, neboť by nemělo docházet k úniku odvětrávaných plynů mimo motor, v porovnání se systémy využívající hadicových řešení vně motoru, kde je toto riziko daleko větší, např. při nesprávném zapojení.

Další výhodou polohy odlučovače je celkem dostupný zástavbový prostor a umístění blízké k olejové vaně, odkud se nejsnáze odloučený olej navrací zpět do vany pod hladinu oleje, a nehrozí tak nebezpečí zpětného nasátí již odloučeného oleje. Nevýhodou může být tato poloha v případě, kdy dochází k extrémně prudkému brzdění, kdy může dojít v odlučovači k prudkému zahlcení olejem, což podstatně sníží jeho účinnost.

Obecně tato poloha umístění odlučovače není příliš vhodná, co se týče vstupu oleje do odlučovače. V klikové skříně dochází vlivem vratného pohybu pístů a přetržitého nasávání vzduchu do válců k tlakovým pulzacím, které zapříčiňují velké víření oleje, společně s otáčející se klikovou hřídelí. Takovéto víření ještě dále roste se zvyšujícími otáčkami motoru. V tomto případě je tedy nutné předcházet velkému vstupu oleje do odlučovače vhodnou volbou konstrukce vstupních otvorů v klikové skříně bloku válců, nebo např. vhodně zvoleným deflektorem.

Je nutné se tedy zabývat jiným vhodnějším umístěním, kde by byly zachovány klady současného systému, a byly rovněž minimalizovány či úplně odstraněny zápory současného systému, tj. nadměrný vstup oleje do odlučovače, vzhledem k jeho současné poloze na bloku válců.

5 Návrh nového systému odvětrání klikové skříně motoru EA211 1,6I MPI 81kW

V předcházející kapitole byl popsán současný systém odvětrání klikové skříně. Tato kapitola se bude zabývat zcela novým návrhem systému, přizpůsobeným pro zadaný motor reprezentující moderní řadu benzinových motorů EA211 koncernu VW.

V této kapitole bude podrobně popsán soupis požadavků na systém odvětrání klikové skříně včetně analýzy vhodného řešení systému odvětrání klikové skříně.

Soupis požadavků na systém pomůže přehledně uspořádat jednotlivé body návrhu tak, aby byly do maximální možné míry splněny při samotném konstrukčním návrhu systému. Analýza vhodného řešení systému slouží nejprve k rozdělení systému do základních styčných bodů, ke kterým je poté navržen přehled možných variantních řešení jednotlivých konstrukčních částí systému. Navrhované řešení systému poté vychází z nejvhodnější možné varianty, vzhledem k požadavkům a možnostem aplikace na zadaný motor, který je předmětem konstrukčních úprav.

5.1 Soupis požadavků na systém odvětrání klikové skříně

V kapitole 3 byly vyjmenovány obecně platné požadavky na systémy odvětrání klikové skříně, jako jsou regulace tlaku, odlučování oleje, volba vhodného místa odběru blow-by plynů, minimalizace rizika zamrznutí a konstrukce zpětného vedení oleje. Tím ovšem problematika návrhu těchto systémů zdaleka nekončí.

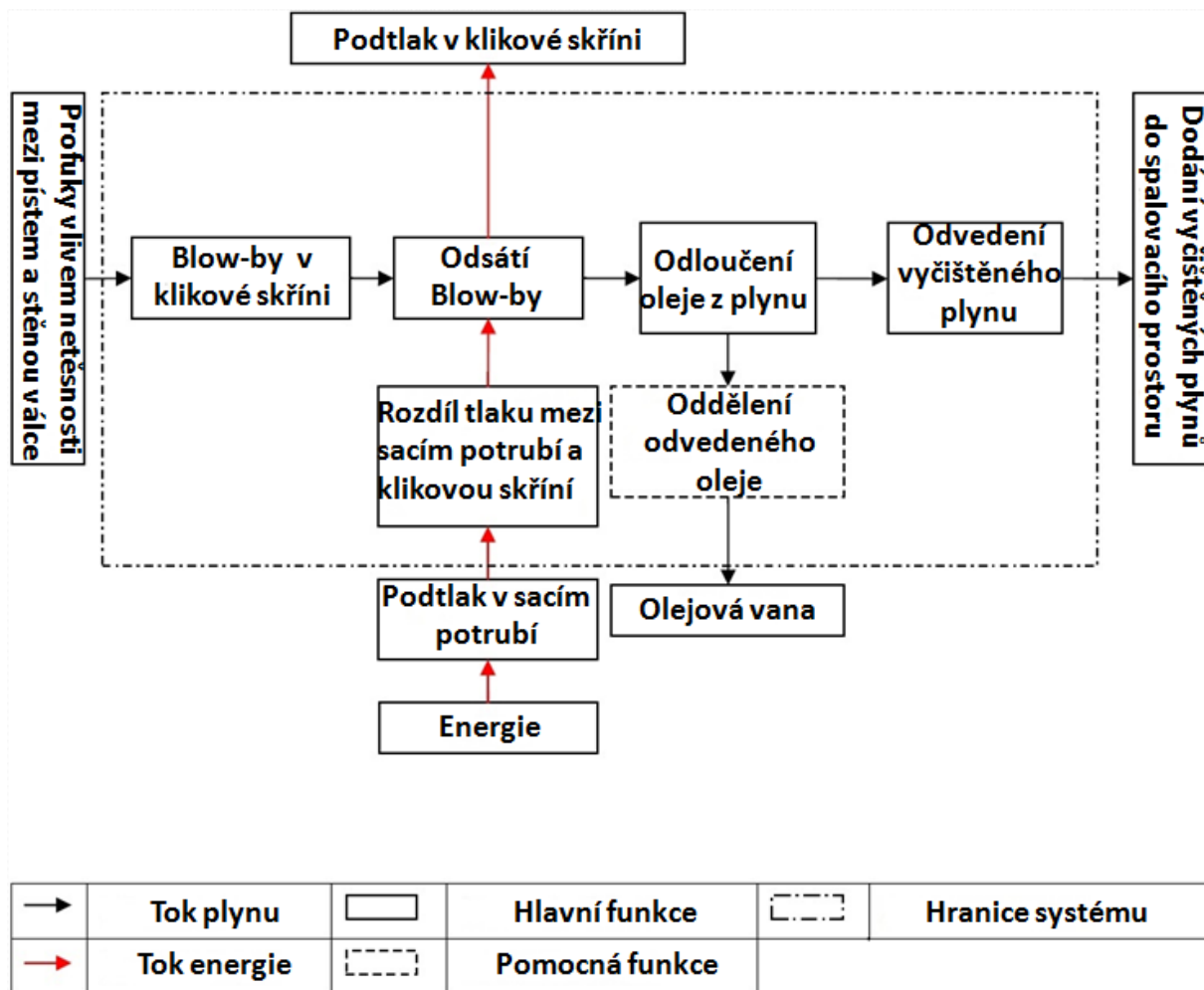
Před začátkem každého konstrukčního návrhu je nutné zabývat se komplexně jednotlivými požadavky, které musejí být nejen z konstrukčního hlediska splněny. Soupis požadavků na systém odvětrání klikové skříně shrnuje následující tab. 5.1.

Hlavní funkce	Popis
<i>Geometrie</i>	Malé rozměry, zástavbový prostor Integrace do modulu (snadná instalace)
<i>Energie</i>	Pasivní systém, využití podtlaku v sacím potrubí
<i>Částice</i>	Obsah zbytkového oleje v odvětrávaných plynech ≤ 2 g/h v každém provozním režimu motoru
<i>Bezpečnost</i>	Zajištění těsnosti (bezpečnost životního prostředí)
<i>Výroba</i>	Materiály odolné oleji, lehké (nízká hmotnost)
<i>Montáž</i>	Jednoduchost a srozumitelnost postupu montáže, malé rozměry jednotlivých částí
<i>Údržba</i>	Nezávislost údržby
<i>Použití</i>	Nezávislé, autonomně pracující systém bez úpravy nebo čištění Bezpečnost proti zamrznutí v každém provozním režimu motoru Použití v olejovém prostředí
<i>Recyklace</i>	Použití recyklovatelných materiálů
<i>Náklady</i>	Minimalizace výrobních, nástrojových a investičních nákladů

Tab. 5.1: Soupis požadavků na systém odvětrání klikové skříně

5.2 Analýza vhodného řešení systému odvětrání klikové skříně

V první řadě je důležité nejdříve správně porozumět funkční struktuře systému odvětrání klikové skříně, aby bylo možné navrhnout nejvhodnější řešení systému. To zajistí konstruktérovi přehled v dané problematice, který je při návrhu systému klíčový. Jednotlivé děje při odvětrání klikové skříně jsou přehledně uspořádány do následujícího schématu na obr. 5.1. Černými šipkami je znázorněn tok plynu a červenými šipkami tok energie.



Obr. 5.1: Schéma funkční struktury odvětrání klikové skříně

Dle uvedeného schématu je zřejmé, že v průběhu návrhu systému bude nutné zvolit vhodné místo odběru blow-by plynů z klikové skříně, vhodné zásobování energií, účinný způsob fyzického oddělení oleje z blow-by plynů, způsob odvedení vyčištěných plynů směrem do sacího potrubí, způsob zpětného vedení odloučeného oleje a jeho řízení, způsob regulace tlaku a vhodný způsob obrany proti zamrznutí v chladných podmínkách.

Výše zmíněné funkce shrnuje následující tab. 5.2, která každé funkci systému přiřazuje max. 5 možných variant řešení.

Funkce / Varianta	1	2	3	4	5
<i>Místo odběru blow-by plynů</i>	Hlava válců	Blok válců			
<i>Zásobování energií</i>	Mechanicky	Elektricky	Pneumaticky	Hydraulicky	Podtlakem v sání
<i>Fyzické oddělení</i>	Filtrace	Odstředivá síla	Gravitační síla	Elektrostatická síla	Setrvačná síla
<i>Vedení do sacího potrubí</i>	Před škrticí klapku	Za škrticí klapku	Částečně před / za klapku		
<i>Obrana proti zamrznutí</i>	Elektrický ohřev	Ohřev chlazenou vodou	Izolace	Odpadní teplo motoru	Odpadní teplo výfukového systému
<i>Zpětné vedení oleje</i>	Nepřetržitě	Přerušované			
<i>Řízení zpětného vedení oleje</i>	Pod hladinu oleje	Nad hladinu oleje	Zpětné vedení	Sifon	
<i>Regulace tlaku</i>	Bez regulace	Částečně regulovatelný průtok	Škrticí ventil regulace	Škrticí ventil neregulovatelný	
<i>Zajištění těsnosti</i>	Tekuté těsnění	Gumové těsnění	Kovové těsnění		
<i>Provětrání motoru</i>	Hlava válců	Blok válců			

Tab. 5.2: Varianty konstrukčního řešení jednotlivých funkcí systému odvětrání klikové skříně

V tabulce jsou v řádcích vyplněny různé varianty řešení dílčích funkcí. Zvolíme-li z každého řádku určité řešení, získá se celkový koncept řešení systému. Ne všechny teoreticky možné kombinace řešení jsou však prakticky proveditelné. Před samotným novým návrhem konstrukčního řešení systému a jeho zdůvodněním uvedu příklad tabulky řešení, které zvolili konstruktéři koncernu VW při návrhu současného sériového systému odvětrání klikové skříně na motoru EA211 1,6l MPI 81 kW.

Místo odběru blow-by plynů bylo konstruktéry zvoleno v bloku válců, resp. přímo v klikové skříně, jako ostatně u všech současných motorů konstrukční řady EA 211 koncernu VW (přesněji u MPI motorů 1,0l, 1,4l, 1,6l a TSI motorů 1,0l, 1,2l a 1,4l). Zásobování energií je zajištěno podtlakem v sání, čímž je myšleno, že se jedná o pasivní systém, využívající podtlaku v sacím potrubí k odvětrávání blow-by plynů z klikové skříně. Současný systém tak nevyužívá externě dodávanou energii. Fyzické oddělení je realizováno jednak nárazem plynů do přepážek na principu

přerušení setrvačné síly a průchodem plynů přes tzv. mini cyklony, které oddělují částice oleje z nasávaných blow-by plynů na principu odstředivé síly. Vedení do sacího potrubí je řešeno vnitřkem motoru přes kanály v bloku a hlavě válců do sacího potrubí za škrticí klapku (jedná se o nepřepřlovaný motor), což značně minimalizuje riziko zamrznutí díky odpadnímu teplu v bloku motoru. Zpětné vedení oleje je v první fázi zajištěno nepřetržitě pod hladinu oleje kanálem v bloku a vaně motoru a ve druhé fázi přerušovaně prostřednictvím ventilu s pružným segmentem. Regulace tlaku probíhá škrticím ventilem regulace, který zajišťuje v klikové skříni stálý podtlak a umožňuje regulaci průtoku odvětrávaných plynů. Zajištění těsnosti odlučovače na bloku válců je řešeno prostřednictvím tekutého těsnění, naneseného na blok válců před montáží odlučovače. Motor je provětráván čerstvým vzduchem přiváděným hadicí od vzduchového filtru do víka hlavy válců, kde se nachází vstupní otvor se zpětným ventilem.

Výše zmíněné je shrnuto v následující tab. 5.3, kde jsou konstrukční varianty podbarveny červeně.

Funkce / Varianta	1	2	3	4	5
<i>Místo odběru blow-by plynů</i>	Hlava válců	Blok válců			
<i>Zásobování energií</i>	Mechanicky	Elektricky	Pneumaticky	Hydraulicky	Podtlakem v sání
<i>Fyzické oddělení</i>	Filtrace	Odstředivá síla	Gravitační síla	Elektrostatická síla	Setrvačná síla
<i>Vedení do sacího potrubí</i>	Před škrticí klapku	Za škrticí klapku	Částečně před / za klapku		
<i>Obrana proti zamrznutí</i>	Elektrický ohřev	Ohřev chlazenou vodou	Izolace	Odpadní teplo motoru	Odpadní teplo výfukového systému
<i>Zpětné vedení oleje</i>	Nepřetržitě	Přerušované			
<i>Řízení zpětného vedení oleje</i>	Pod hladinu oleje	Nad hladinu oleje	Zpětné vedení	Sífon	
<i>Regulace tlaku</i>	Bez regulace	Částečně regulovatelný průtok	Škrticí ventil regulace	Škrticí ventil neregulovatelný	
<i>Zajištění těsnosti</i>	Tekuté těsnění	Gumové těsnění	Kovové těsnění		
<i>Provětrání motoru</i>	Hlava válců	Blok motoru			

Tab.5.3: Zvolené konstrukční řešení sériového systému odvětrání klikové skříně (zvýrazněno červeně)

5.3 Nový návrh konstrukčního řešení systému odvětrání klikové skříně

Místo odběru blow-by plynů

Vzhledem k zadání diplomové práce je preferované umístění odlučovače oleje ve víku hlavy válců, na rozdíl od umístění na bloku válců u sériové verze motoru. Umístění odběru blow-by plynů ve víku hlavy válců je do jisté míry výhodné, protože podíl olejové mlhy a tlakových pulzací je relativně nízký na rozdíl od umístění v klikové skříně. Je to také výhodné vzhledem k poměrně malému průměru vačkové hřídele a jeho poloviční úhlové rychlosti otáčení vůči klikové hřídeli. V souladu s vhodnou volbou optimálního vstupního otvoru se zajistí minimální hrozba zahlcení odlučovače olejem v porovnání s odběrným místem v klikové skříně.

Zásobování energií

Z hlediska požadavku na nízké investiční náklady a jednoduchost pasivního systému z tab. 5.1 je stále výhodné zásobování energií podtlakem v sání, tzn. v klikové skříně je udržován podtlak díky podtlaku v sacím potrubí. Aktivní systémy zásobování energií (např. mechanické odstředivky) se zřídka kdy nacházejí v automobilových spalovacích motorech pro svou výraznou složitost a pořizovací náklady.

Fyzické oddělení

Vyhodnocením tab. 3.3 bylo rozhodnuto, že nejvhodnější variantou pro fyzické oddělení částic oleje z blow-by plynů bude na principu setrvačné síly, resp. použití labyrintového odlučovače. Z hlediska zástavbového prostoru, který je ve víku hlavy válců omezený, a z dalších důvodů, jako jsou celoživotní součást motoru, nízké pořizovací náklady a provoz bez externí pomocné energie, se labyrint jeví jako nejvýhodnější varianta konstrukčního řešení. Labyrintový a vláknový odlučovač nedostaly žádné nedostatečné hodnocení ze sledovaných parametrů. Důležitým požadavkem na systém odvětrání klikové skříně v tab. 5.1 je nezávislost údržby, kterou vláknový odlučovač nesplňuje, jelikož se v současné době nejedná o celoživotní součást motoru. Nevýhody labyrintového odlučovače, zmíněné v kapitole 3.2.2, budou do jisté míry potlačeny, protože jeho umístění ve víku hlavy válců zajistí

provoz bez velkého rizika zahlcení olejovými částicemi vlivem tlakových pulzací, které jsou v hlavě válců relativně nízké.

Vedení do sacího potrubí

Jedná-li se o motor nepřepřehovaný, jako v tomto případě, mohou být blow-by plyny odvětrávány do sacího potrubí za škrticí klapku v každém provozním režimu motoru, protože v sacím potrubí nemůže být dosaženo vyššího středního tlaku, než je tlak atmosférický. Za předpokladu teoretického úniku menšího množství částic oleje přes odlučovač do sacího potrubí je žádoucí, aby byly plyny odvětrávány co možná nejbližší k sacím ventilům, aby ve velké míře nezanášel sací trakt částicemi oleje, zejména pak škrticí klapku, což by mohlo mít za následek potíže uvedené v kapitole 2.4, které mohou nepříznivě ovlivnit provozuschopnost motoru.

Obrana proti zamrznutí

Jedním z hlavních požadavků na systém odvětrání klikové skříně je odolnost proti zamrznutí v každém provozním režimu motoru. Aby byl tento požadavek splněn v celém jeho rozsahu, je důležité si nejdříve rozdělit odolnost proti zamrznutí na dvě části. Jednak je důležité zajistit kontinuální ohřev samotného odlučovače během provozu motoru, a poté zajistit odolnost proti kondenzaci vlhkosti a námrazy i pro plyny odloučené od oleje, při jejich dopravě zpět do sacího potrubí. Z hlediska již existující původní konstrukce motoru se jeví jako nejvhodnější varianta odolná proti zamrznutí, kombinace ohřevu odpadním teplem motoru pro odlučovač, a izolace pro plyny odvětrávané zpět do sání motoru. S dodatečným elektrickým ohřevem by se dalo uvažovat v případě, kdyby byl motor určen pro provoz v arktických oblastech za extrémně nízkých teplot.

Zpětné vedení oleje

Zpětné vedení oleje může být nepřetržité, nebo přerušované. Nepřetržité zpětné vedení oleje je využíváno k odvodu veškerého odloučeného oleje před tlakovým regulačním ventilem, kde je ještě podtlak z klikové skříně, snížený o tlakovou ztrátu odlučovače. Přerušované zpětné vedení oleje je naopak využíváno tam, kde se již nachází podtlak v sacím potrubí, čili za tlakovým regulačním ventilem. Aby se za ventilem nehromadila hladina oleje, může být přetržité zpětné vedení oleje řešeno několika způsoby, kdy je hladina oleje odvedena po odstavení motoru.

Řízení zpětného vedení oleje

Z hlediska zvoleného umístění odlučovače ve víku hlavy válců a již existující konstrukce motoru by bylo velice složité odvádění pod hladinu oleje do vany. Bylo by nutné zkonstruovat speciální kanál pouze pro odvod oleje a ještě zajistit jeho vyústění pod hladinu oleje, aby byla zajištěna ochrana před možným zpětným nasátím již odloučeného oleje. Při již existující konstrukční povaze motoru by byl tento krok velice nákladný a prakticky nemožný bez většího konstrukčního zásahu do jednotlivých dílů hlavy a bloku válců. Proto je nejvýhodnější variantou volba sifonu, který zajistí odvedení odloučeného oleje z odlučovače do prostoru hlavy válců. Vhodně navrženými rozměry sifonu se zajistí, že bude olej kontinuálně odtékat do prostoru hlavy válců bez rizika zpětného nasátí již odloučeného oleje.

Regulace tlaku

Jelikož se jedná o nepřepřítovaný motor, v důsledku neustálého přivádění blow-by plynů je nutné regulovat podtlak v klikové skříni v rozpětí žádaných hodnot prostřednictvím škrticího ventilu regulace. Kdyby tomu tak nebylo, s rostoucím podtlakem v sacím potrubí by rostl i podtlak v klikové skříni. V takovém případě by mohl stoupající tlak v klikové skříni způsobit trvalé netěsnosti v motoru, např. porušením hřídelových těsnění. Aby škrticí ventil regulace správně plnil svoji funkci, musí být vhodně navržen a ověřen příslušnými výpočty.

Zajištění těsnosti

Dalším z hlavních požadavků na systém odvětrání klikové skříně je dokonalá těsnost odlučovače vůči montovanému povrchu, tedy víku. Gumové těsnění je v tomto případě jednoznačně nejlepší řešení, které dovoluje v porovnání s tekutým těsněním větší vzdálenosti mezi šrouby pro upevnění odlučovače na víko hlavy válců. Dále pak zajišťuje větší robustnost – eliminaci netěsností (lepší odolnost vůči agresivním látkám).

Provětrání motoru

Provětrání motoru čerstvým vzduchem bude řešeno využitím volného místa po sériovém odlučovači na bloku válců. Vzestupné kanály pro odvětrávání vyčištěných blow-by plynů v bloku a hlavě válců budou zaslepeny včetně kanálů určených pro olej směřující do olejové vany. Do místa původního sériového odlučovače bude

umístěn zpětný ventil, a skrz něj bude přiváděn čerstvý vzduch hadicí od vzduchového filtru pro snížení vnitřní relativní vlhkosti v motoru. Vzduchový filtr bude přesunut z původního umístění na motoru do motorového prostoru ve vozidle, kde je dostupný volný prostor pro jeho zástavbu.

Výše zmíněné je shrnuto v následující tab. 5.4, kde jsou u návrhu nového konstrukčního řešení systému vybrané varianty podbarveny zeleně.

Funkce / Varianta	1	2	3	4	5
<i>Místo odběru blow-by plynů</i>	Hlava válců	Blok válců			
<i>Zásobování energií</i>	Mechanicky	Elektricky	Pneumaticky	Hydraulicky	Podtlakem v sání
<i>Fyzické oddělení</i>	Filtrace	Odstředivá síla	Gravitační síla	Elektrostatická síla	Setrvačná síla
<i>Vedení do sacího potrubí</i>	Před škrticí klapku	Za škrticí klapku	Částečně před / za klapku		
<i>Obrana proti zamrznutí</i>	Elektrický ohřev	Ohřev chlazenou vodou	Izolace	Odpadní teplo motoru	Odpadní teplo výfukového systému
<i>Zpětné vedení oleje</i>	Nepřetržitě	Přerušované			
<i>Řízení zpětného vedení oleje</i>	Pod hladinu oleje	Nad hladinu oleje	Zpětné vedení	Sifon	
<i>Regulace tlaku</i>	Bez regulace	Částečně regulovatelný průtok	Škrticí ventil regulace	Škrticí ventil neregulovatelný	
<i>Zajištění těsnosti</i>	Tekuté těsnění	Gumové těsnění	Kovové těsnění		
<i>Provětrání motoru</i>	Hlava válců	Blok válců			

Tab. 5.4: Návrh nového konstrukčního řešení systému odvětrání klikové skříně (zvýrazněno zeleně)

V následující kapitole bude popsán vývoj konstrukce modifikovaných a nových dílů, vycházejících z návrhu nového systému odvětrání klikové skříně uvedeného v této kapitole.

6 Konstrukce nového systému odvětrání klikové skříně

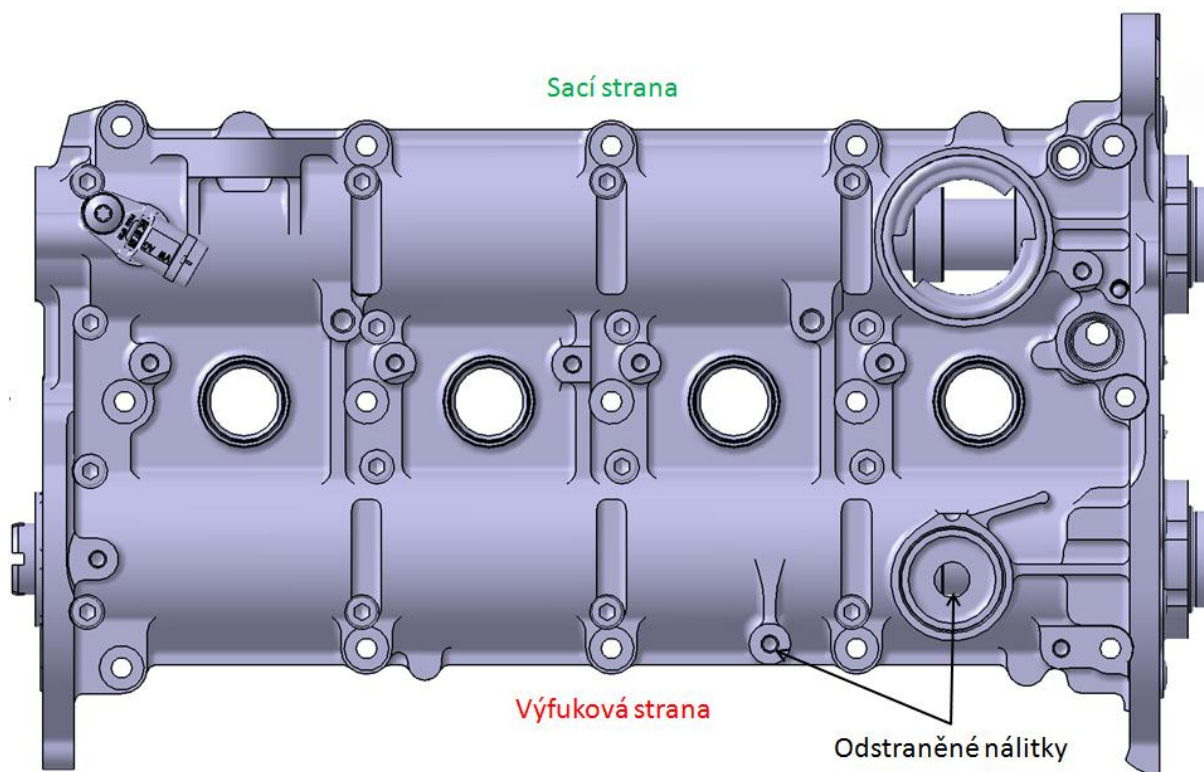
V této kapitole bude popsán vývoj konstrukce modifikovaných a nových dílů systému, kterými jsou modifikované víko hlavy válců, odlučovač oleje, odvětrávací hadice a modifikované sací potrubí. Na konci kapitoly jsou doporučeny montážní pokyny.

6.1 Modifikace víka hlavy válců

Změna polohy odlučovače oleje z bloku válců do víka hlavy válců obnášela nezbytnou konstrukční úpravu víka, kterou bylo nutno provést. Z hlediska teoretické možnosti pozdějšího ověření funkčnosti navrženého systému bylo rozhodnuto, že sériové víko hlavy válců nebude pro konstrukční úpravu příliš vhodné. Jedná se totiž o nedělené víko, do kterého jsou vačkové hřídele montovány v podchlazeném stavu u dodavatele. Při pozdějším odzkoušení je toto problém, neboť odlitek takového modifikovaného víka by byl velice ekonomicky nákladný na výrobu. Proto bylo pro potřebu modifikace zvoleno již existující víko prototypové, které je konstrukčně řešeno jako dělené pro montáž vačkových hřídelí do ložisek a jedná se o zesílenou variantu sériového víka. Takto modifikované víko může být vyfrézováno z jednoho kusu materiálu, do kterého budou uloženy vačkové hřídele.

Z hlediska volby polohy odlučovače ve víku byla zvolena strana výfukové vačkové hřídele vzhledem ke svému lepšímu zástavbovému prostoru vůči straně sací vačkové hřídele a jejímu nálitku pro doplňování oleje. Z toho důvodu bylo nutné odstranit nálietek vstupního otvoru pro čerstvý vzduch, který už z principu změny polohy odlučovače bude přemístěn na blok motoru do původního místa sériového odlučovače oleje. V opačném případě by byl přisávaný vzduch do víka okamžitě nasáván do odlučovače, a nedocházelo by tak k potřebnému provětrávání motoru čerstvým vzduchem. Dále bylo nutné odstranit nálietek pro šroub, upevňující tenkou trubičku od vzdušnění nádržky chladicí kapaliny. Následně byl vymezen dostupný zástavbový prostor pro potřebný nálietek odlučovače.

Původní prototypové víko před modifikací je uvedeno na obr. 6.1.

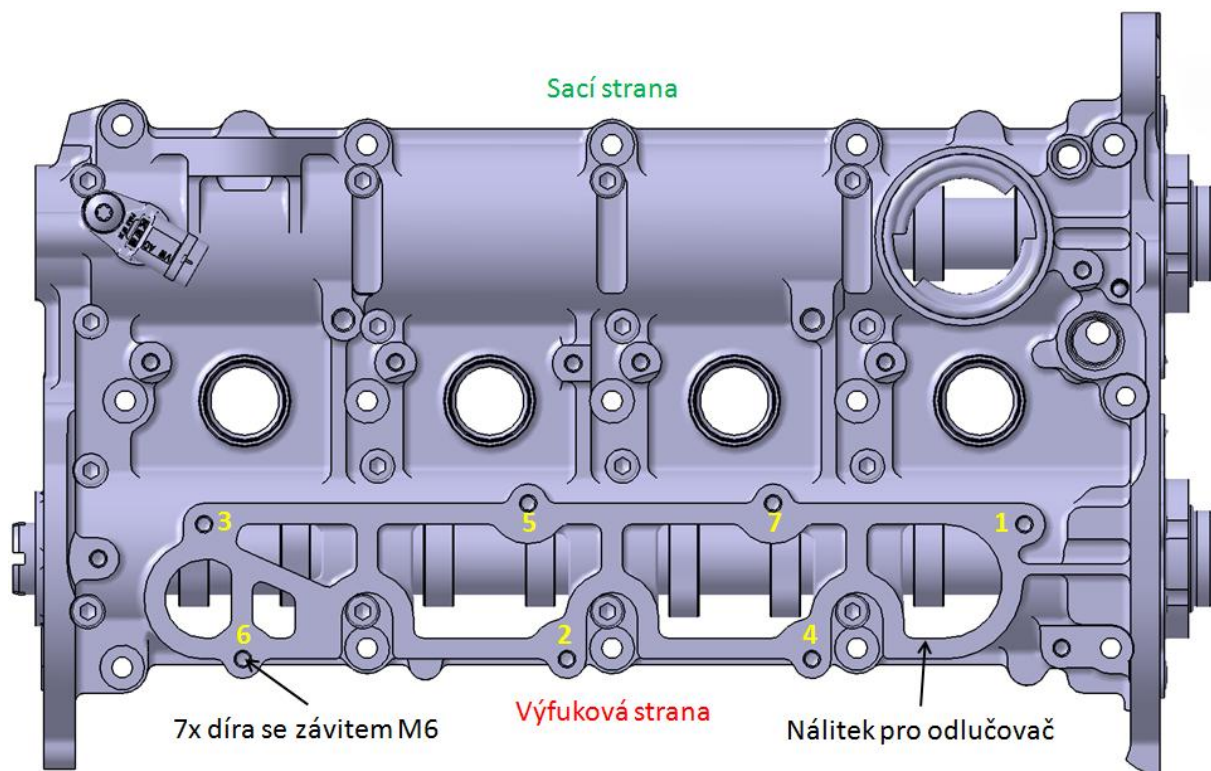


Obr. 6.1: Prototypové víko hlavy válců před modifikací

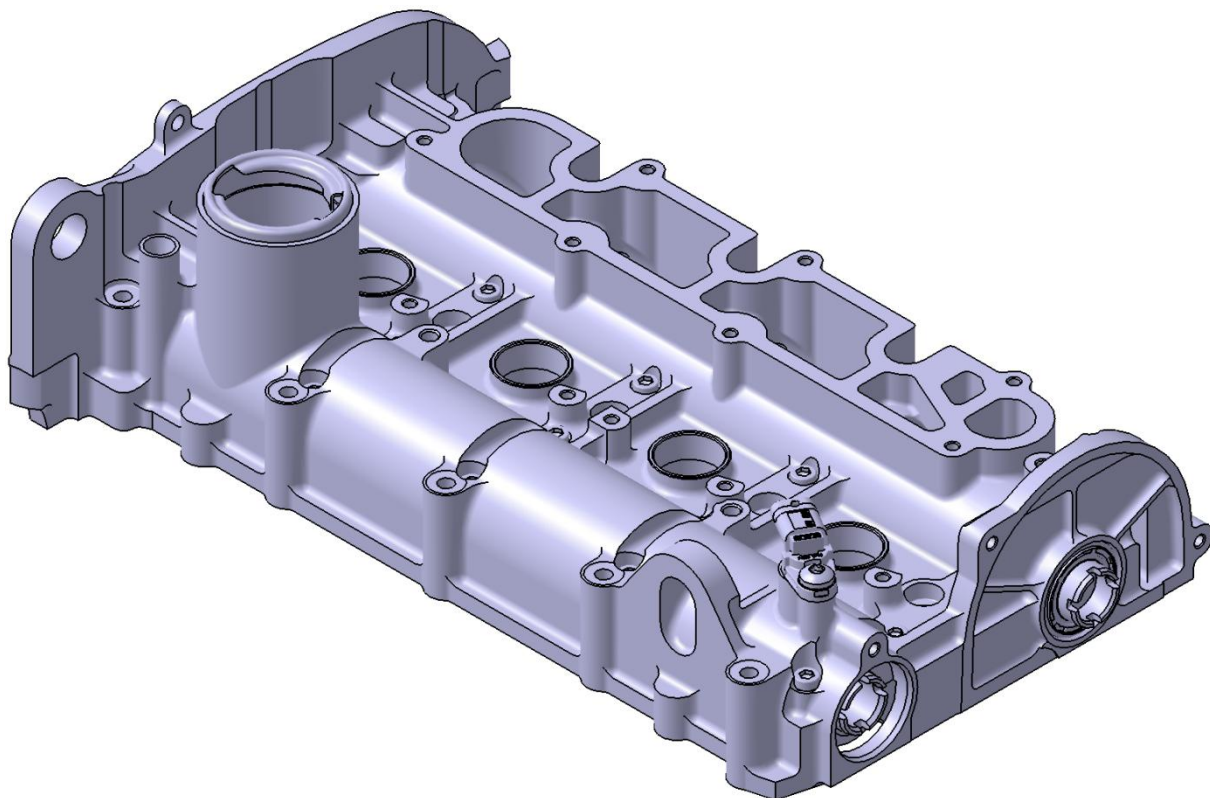
Nově modifikované víko bylo vyvíjeno současně s vývojem odlučovače oleje. Při modifikaci bylo nutné respektovat hlavové a ložiskové šrouby na výfukové straně vačkové hřídele. Z hlediska požadavku na kontinuální ohřev odlučovače odpadním teplem motoru, bylo nutné zkonstruovat průduchy pro přívod tepla, které plní i funkci pro zástavbu vstupního otvoru do odlučovače, zástavbu dvou sifonů pro odvod oleje a zástavbu pro odvod oleje při odstavení motoru. Modifikované víko bylo opatřeno sedmi dírami pro šrouby se závitem M6 pro upevnění odlučovače k víku.

Materiál víka byl zachován z původního prototypového víka před modifikací. Jedná se o DURAL EN 1706-EN AC-ALSi9Cu3(Fe) a výsledná hmotnost víka je 2,97 kg. Oproti čistému hliníku (měrná hmotnost 2,7 g/cm³) je dural jen nepatrně těžší (typicky 2,8 g/cm³), ale až pětkrát pevnější v tahu a tvrdší. Pevnost i tvrdost se zvyšuje tepelným zpracováním a zušlechťováním. Dural se velmi snadno obrábí.

Modifikované prototypové víko je uvedeno na obrázcích 6.2 a 6.3.



Obr. 6.2: Modifikované prototypové víko hlavy válců (pohled shora)



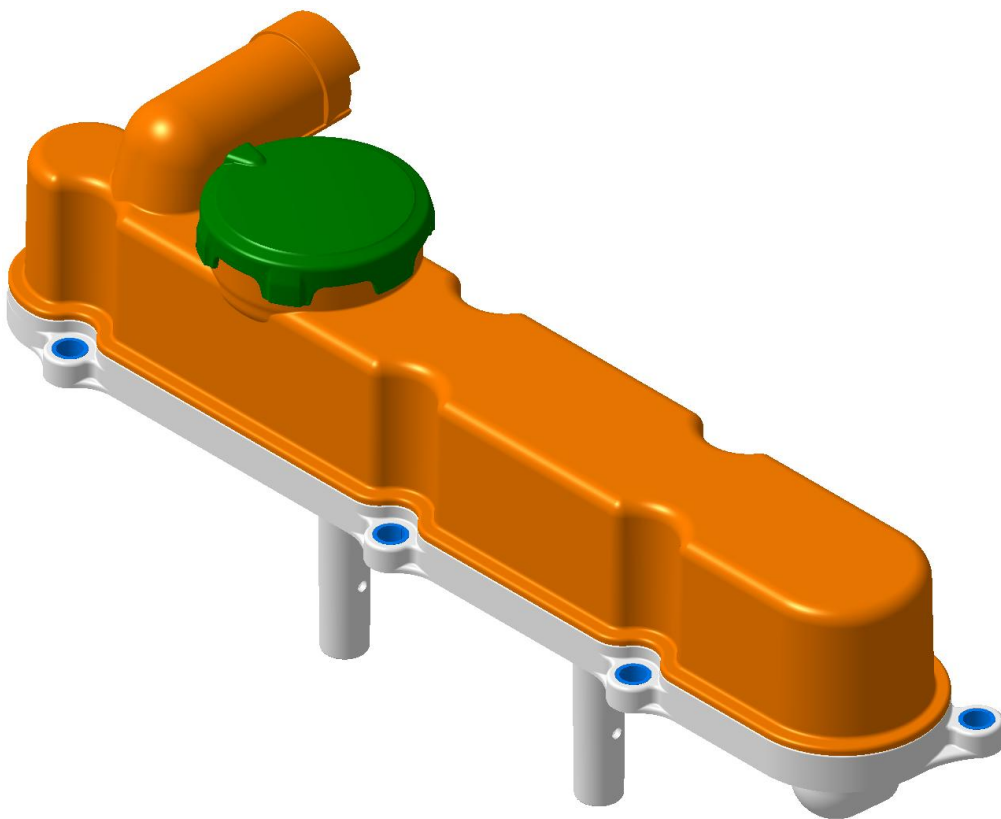
Obr. 6.3: Modifikované prototypové víko hlavy válců (3D pohled)

6.2 Odlučovač oleje

Snižování emisí prostřednictvím lehkých komponent je jedním z hlavních cílů ve výrobě motorů a vozidel. Plasty jsou zde významné, protože jsou nejen lehčí než kovové materiály, ale také vytváří výborné podmínky pro vysokou úroveň integrace. Umožňují vyrábět odlučovač oleje (na obr. 6.4) jednoduše, efektivně a rychle. Časově náročné kroky obrábění, jako jsou soustružení, frézování či vrtání, jsou vyloučeny, protože technologií vstřikováním plastů jsou tvarované části odlučovače produkovány zařízením v jeho konečné podobě a provedení. Výhodou plastů je i to, že jejich pevnost a charakter zpracování lze přizpůsobit jednotlivým aplikacím změnou poměru skleněných vláken a minerálních plniv.

To jsou jen některé z mnoha důvodů, proč byl za hlavní materiál odlučovače zvolen plast s označením PA66-GF30 (polyamid s 30% náplní ze skleněných vláken).

Tvar a rozměry odlučovače byly v průběhu vývoje konstrukce značně ovlivněny zástavbovým prostorem ve víku hlavy válců.

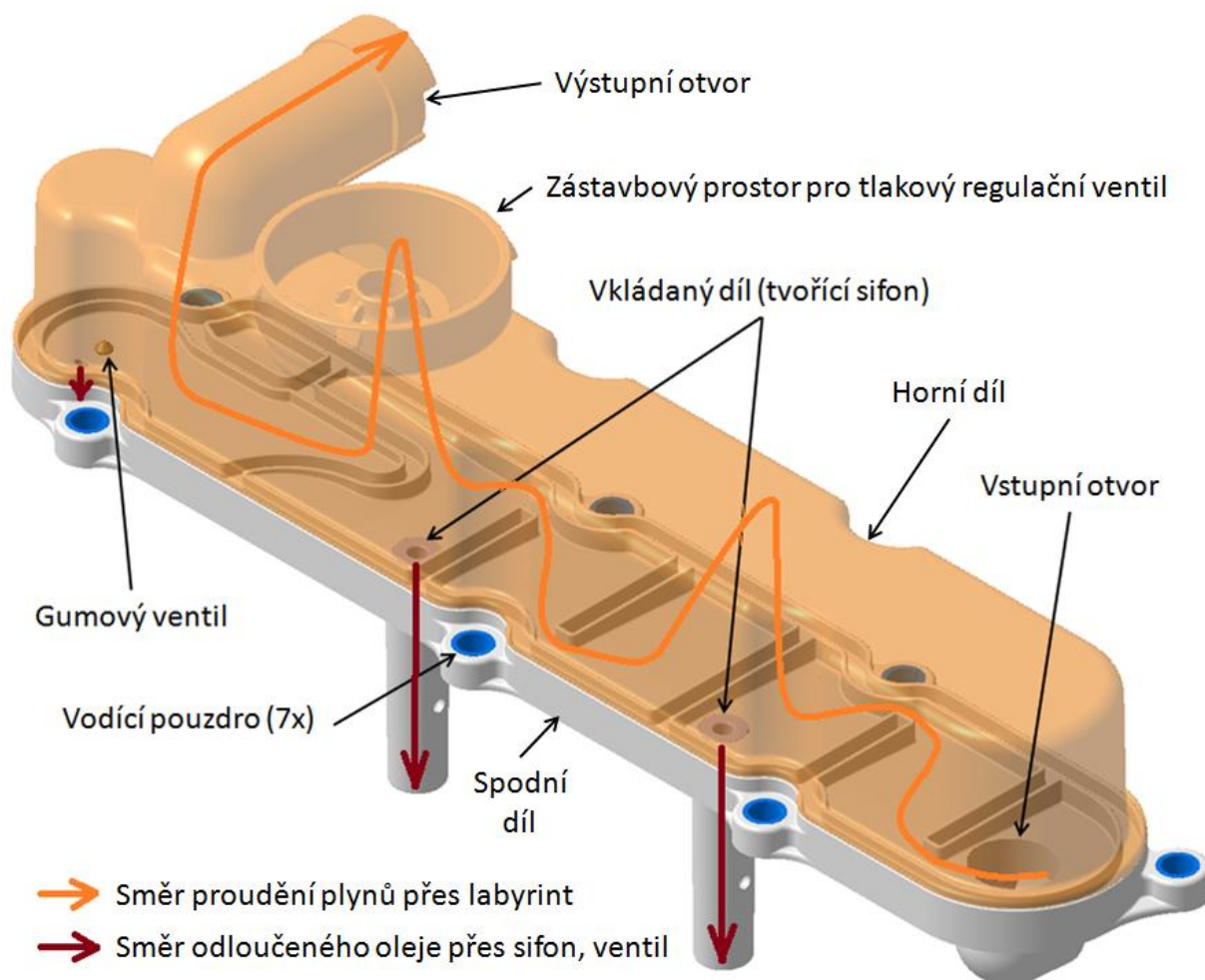


Obr. 6.4: Odlučovač oleje

6.2.1 Spodní a horní díl

Spodní díl tvoří tuhou konstrukci spodní části odlučovače, dosedající na náliček nově modifikovaného víka hlavy válců (na obr. 6.5). Na spodním dílu se nachází:

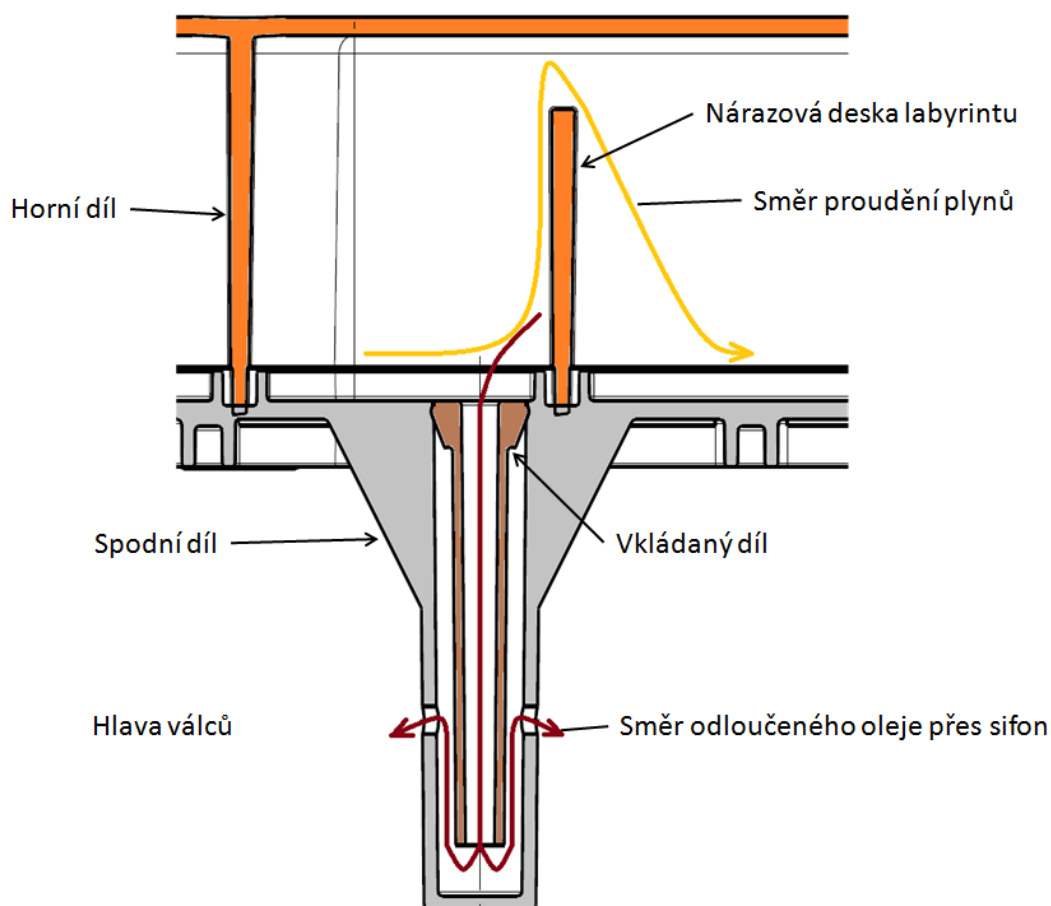
- drážka pro svaření horkým plynem k hornímu dílu odlučovače, který obsahuje nárazové desky labyrintu pro odlučování oleje z blow-by plynů
- vstupní otvor do odlučovače
- drážka pro zástavbu těsnění
- dva uzavřené trubicové segmenty vyztužené žebry, tvořící s vkládaným dílem sifon pro odvod odloučeného oleje z odlučovače do hlavy válců (viz obr. 6.6)
- gumový ventil pro odvod oleje do hlavy válců z prostoru za tlakovým regulačním ventilem po odstavení motoru
- náličky pro upevnění odlučovače k víku hlavy válců včetně lisovaných vodících pouzder pro montáž šroubů



Obr. 6.5: Spodní a horní díl odlučovače

Horní díl tvoří tuhou konstrukci pláště odlučovače. Na horním dílu se nachází:

- nárazové desky labyrintu pro odlučování oleje z blow-by plynů (viz obr. 6.6)
- zástavbový prostor pro tlakový regulační ventil, nacházející se za nárazovými deskami labyrintu
- výstupní otvor z odlučovače za tlakovým regulačním ventilem pro připojení bezpečnostní pojistky odvětrávací hadice k odvětrávání plynů do sacího potrubí

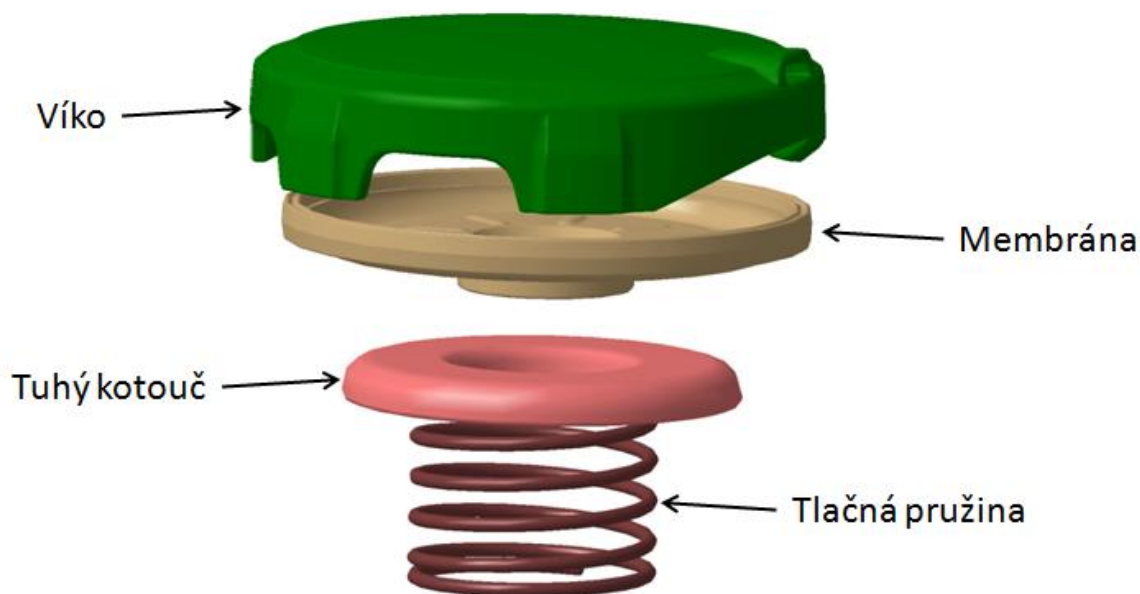


Obr. 6.6: Princip odlučování oleje v odlučovači přes nárazové desky labyrintu

Čerstvý vzduch smísený s blow-by plyny, obsahující částice oleje, proudí odlučovačem, který tvoří labyrintovou cestu protékajícímu plynu pomocí nárazových desek. Plyny jsou nuceně vychylovány ze svého směru a svou rychlostí narážejí do desek, díky nimž dochází k fyzickému působení setrvačné síly na olejové částice v plynu a k jejich oddělení. Částice oleje pak ulpívají na deskách, odkud působením gravitační síly stékají do spodní části odlučovače, kde se nachází sifon, tvořený vkládaným a spodním dílem, kterým je odloučený olej veden do hlavy válců.

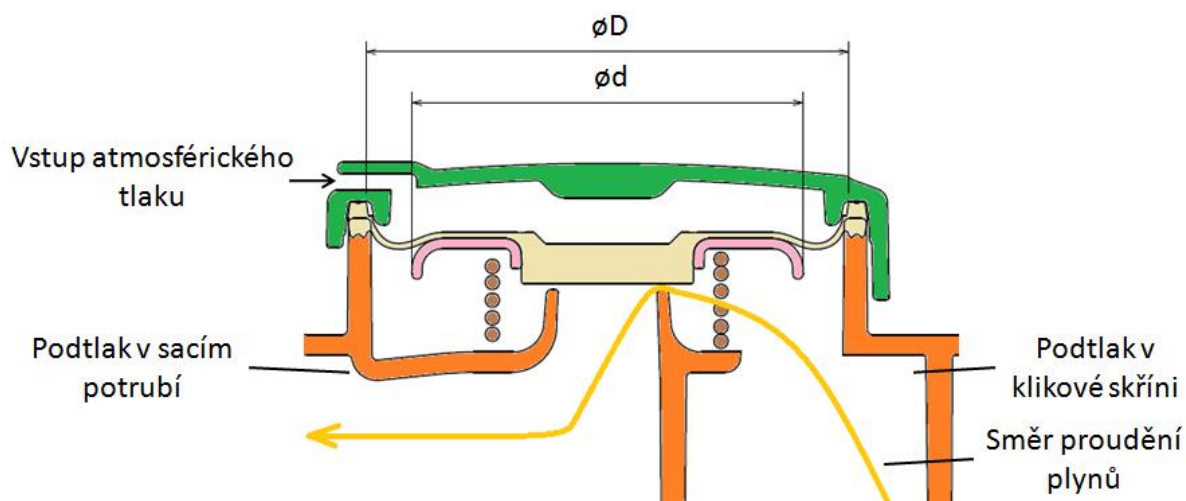
6.2.2 Tlakový regulační ventil

Součástí nového návrhu odlučovače je tlakový regulační ventil, který se skládá z víka, pryžové membrány ($\varnothing 47,6$ mm), tuhého kotouče ($\varnothing 38,7$ mm) a tlačné pružiny. Rozpad tlakového regulačního ventilu, nacházejícího se za přepážkami labyrintu, je uveden na obr. 6.7.



Obr. 6.7: Rozpad dílů tlakového regulačního ventilu

Tlakový regulační ventil je pružně uloženou membránou rozdělen na dvě komory. Jedna komora je spojena s okolním ovzduším, druhá se sacím potrubím a s prostorem klikové skříně. Při regulaci podtlaku v klikové skřině využívá ventil prostředí pod kapotou jako referenční tlak, přičemž mění velikost průřezu, kterým v závislosti na ovládacím tlaku sání proudí plyny z klikové skřině do sacího potrubí. Řez ventilu v uzavřené poloze je uveden na obr. 6.8.



Obr. 6.8: Průřez ventilu zabudovaného v odlučovači v uzavřené poloze

Počtení návrh membrány

Účinnost membrány

$$\eta = \frac{1}{3} \times \left(1 + \frac{d}{D} + \frac{d^2}{D^2} \right)$$

Maximální síla působící na membránu

$$S_{max} = p_{max} \times \frac{\pi}{12} \times (D^2 + D \times d + d^2) = p_{max} \times f_e$$

Tuhost pružiny

$$C_p = \frac{S_{max} - F_1}{y_{max}}$$

Efektivní (účinná) plocha membrány

$$f_e = \eta \times f$$

Plocha membrány

$$f = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

Účinný \varnothing membrány

$$D_e = \sqrt{\frac{1}{3} \times (D^2 + D \times d + d^2)}$$

Přehled

Proměnná	Hodnota	Jednotka	Název proměnné
p_{max}	5000	Pa	Zadaný max. podtlak v klikové skříni
y_{max}	0,005	m	Volená max. požadovaná výchylka pružiny
D	0,0476	m	Volený \varnothing membrány
d	0,0387	m	Volený \varnothing tuhého kotouče
F_1	4,1	N	Volené předpětí pružiny
F_8	7,3	N	Výpoč. max. síly vyvozené pružinou
C_p	648	N.m-1	Výpoč. tuhosti pružiny
p_a	101325	Pa	Zadaný atmosférický tlak
d_{tr}	0,0098	m	Volený \varnothing trubky k sání

Výpočet membrány

p_{max}	5000	Pa	Zadaný max. podtlak v klikové skříni
y_{max}	0,005	m	Volená max. požadovaná výchylka pružiny
D	0,0476	m	Volený \varnothing membrány
d	0,0387	m	Volený \varnothing tuhého kotouče
C_p	?	N.m-1	Tuhost pružiny (?)
η	0,824678401	-	Výpoč. účinnosti membrány
F_1	4,1	N	Volené předpětí pružiny
S_{max}	7,3	N	Výpoč. max. síly působící na membránu
$S_{max}=S_{pmax}$			
C_p	648	N.m-1	Výpoč. tuhosti pružiny
S_{pmax}	7,3	N	Výpoč. max. síly vyvozené pružinou
f_e	0,001467535	m ²	Výpoč. efektivní (účinné) plochy membrány
f	0,001779524	m ²	Výpoč. plochy membrány
D_e	0,0432	m	Výpoč. účinného \varnothing membrány

Tab. 6.1: Zadané, volené a vypočtené hodnoty při návrhu membrány ventilu [9]

Pro zhotovení ventilové charakteristiky řízeného tlaku v klikové skříni v závislosti na ovládacím tlaku v sacím potrubí, bylo nutné dopočítat následující údaje, vycházející z působení sil a tlaků uvnitř ventilu podle obr. 6.9.

Atmosférický tlak (zadáno)

$$p_a = 101\,325\text{ Pa}$$

Přepočítání atmosférického tlaku na sílu působící uvnitř ventilu

$$F_a = \frac{\pi \times D_e^2}{4} \times p_a$$

Maximální síla vyvozená pružinou (jedná se o statický návrh) - vypočteno

$$F_p = 7,3\text{ N}$$

Tlak v sacím potrubí vycházející z měření na reálném motoru (zvolen výpočetní rozsah pro nepřepřítaný motor po 1000 Pa)

$$p_s = 21\,325 \div 101\,325\text{ Pa}$$

Přepočítání tlaku v sacím potrubí na sílu působící uvnitř ventilu

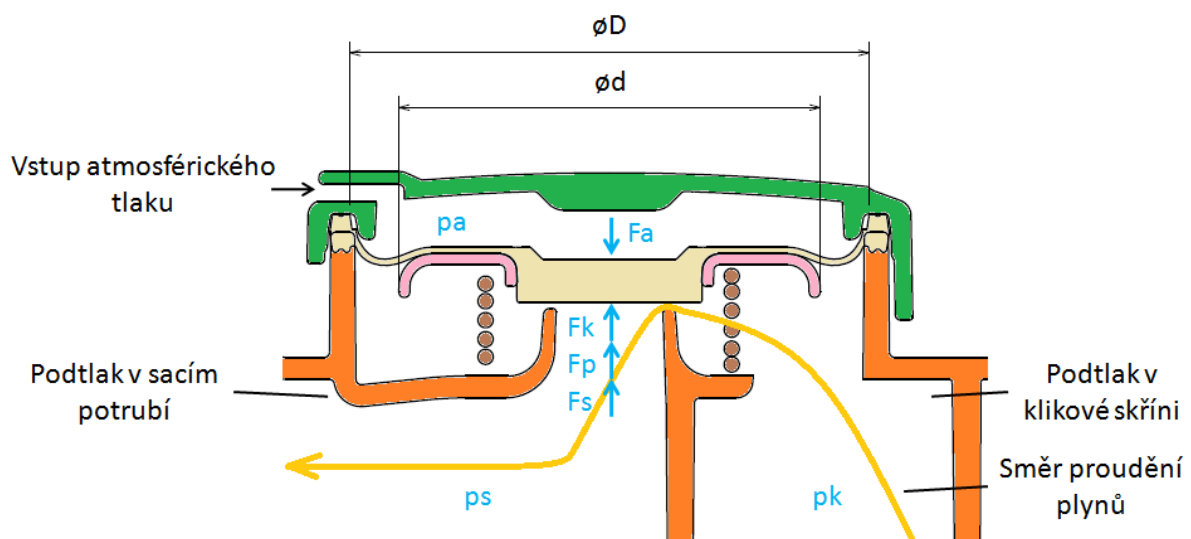
$$F_s = \frac{\pi \times d_{tr}^2}{4} \times p_s$$

Síla od tlaku v klikové skříni působící uvnitř ventilu

$$F_k = F_a - F_p - F_s$$

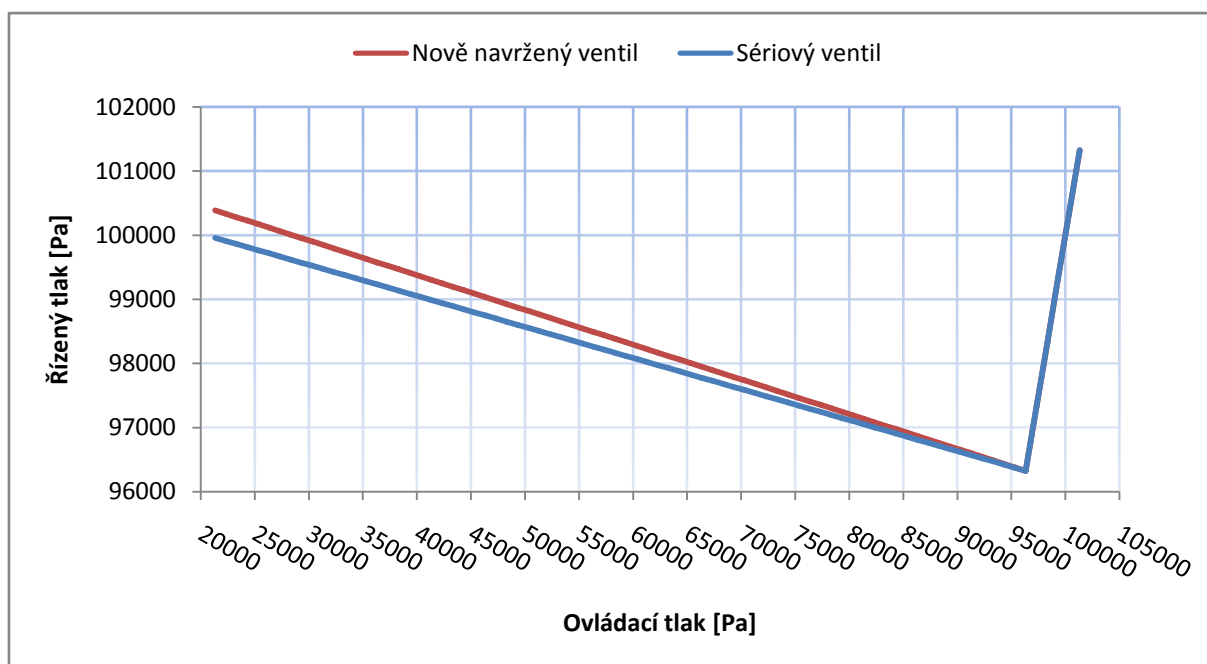
Tlak v klikové skříni

$$p_k = \left(\frac{F_k}{\frac{\pi \times D_e^2}{4} - \frac{\pi \times d_{tr}^2}{4}} \right)$$



Obr. 6.9: Vyznačení působení sil a tlaků uvnitř tlakového regulačního ventilu

Ověřovací výpočet byl proveden i u sériového ventilu a v následujícím grafu 6.1 je porovnána charakteristika regulace sériového a nově navrženého ventilu. Větší strmost křivky nově navrženého ventilu je způsobena menším průměrem membrány, kterou není možné ze zástavbových důvodů zvětšit.



Graf 6.1: Porovnání charakteristiky regulace sériového a nově navrženého ventilu

Počtení návrh tlačné pružiny

Pružina musí být dimenzována dle požadované tuhosti vypočtené při návrhu membrány. Pro pružinu je k dispozici zástavbový prostor v odlučovači o průměru $D_z = 25$ mm. Materiál pružiny byl zvolen X12CrNi 17 7/K+A dle DIN EN 10270-3-1.4310-NS, s mezí pevnosti v tahu $R_m = 1800$ MPa. V tab. 6.2 jsou uvedeny zadané, volené a vypočtené hodnoty pružiny ventilu.

Maximální dovolené napětí v krutu

$$\tau_{kh}^* = 0,5 \times R_m$$

Průměr drátu

$$d_p \geq \sqrt[3]{\frac{8 \times F_8 \times D_p \times s}{\pi \times \tau_{kh}^*}}$$

Poměr vinutí

$$i = \frac{D_p}{d_p}$$

Wahlův korekční faktor

$$K = \frac{i + 0,2}{i - 1}$$

Maximální napětí v krutu na normovaný \emptyset drátu

$$\tau_{k8} = \frac{8 \times F_8 \times D_p \times K}{\pi \times d_p^3}$$

Součinitel bezpečnosti

$$s = \frac{\tau_{kh}^*}{\tau_{k8}}$$

Počet činných závitů pružiny

$$n = \frac{G \times d_p^4}{8 \times \frac{C_p}{1000} \times D_p^3}$$

Celkový počet závitů

$$n_c = n + n_z$$

Přepočet tuhosti pružiny pro úpravu středního \emptyset pružiny

$$C_p = \frac{G \times d_p^4}{8 \times D_p^3 \times n \times 1000}$$

Přepočet volby středního \varnothing pružiny

$$D_p = \sqrt[3]{\frac{G \times d_p^4}{8 \times \frac{C_p}{1000} \times n}}$$

Maximální vnější \varnothing pružiny

$$D_1 = D_p + d_p$$

Minimální vnitřní \varnothing pružiny

$$D_2 = D_p - d_p$$

Napětí materiálu pružiny v krutu při stavu předpruženém

$$\tau_{k1} = \frac{\tau_{k8} \times F_1}{F_8}$$

Deformace pružiny při požadovaném předpětí

$$y_1 = \frac{F_1}{\frac{C_p}{1000}}$$

Deformace pružiny při maximálním zatížení

$$y_8 = y_1 + (y_{max} \times 1000)$$

Maximální zatěžující síla pružiny

$$F_8 = \frac{C_p}{1000} \times y_8$$

Deformace pružiny při dosednutí závitů

$$y_9 = y_8 + (L_8 - L_9)$$

Výpočet zatěžující síly při dosednutí závitů

$$F_9 = \frac{F_8 \times y_9}{y_8}$$

Volná délka pružiny

$$L_0 = y_8 + (v_{min} \times n) + (d_p \times n) + (d_p \times n_z)$$

Délka pružiny po montáži

$$L_1 = L_0 - y_1$$

Délka pružiny při maximálním zatížení

$$L_8 = L_0 - y_8$$

Délka pružiny při dosednutí závitů

$$L_9 = n_c \times d_p$$

Vůle mezi činnými závity

$$v_{min} = 0,1 \times d_p$$

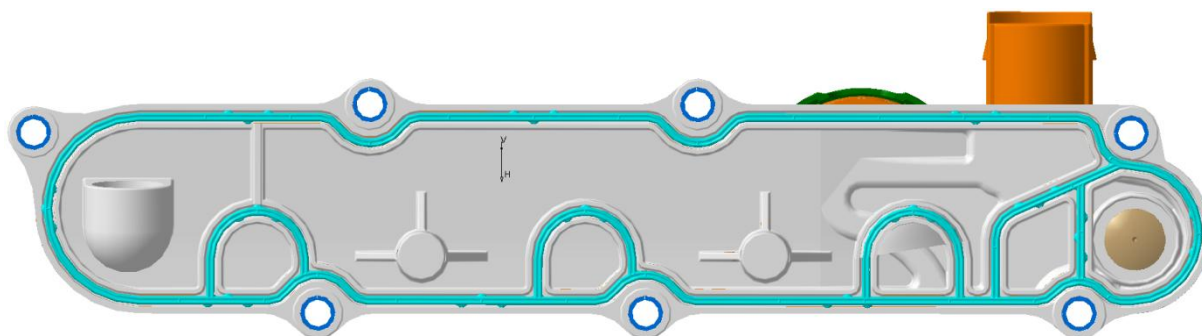
Výpočet pružiny

Proměnná	Hodnota	Jednotka	Název proměnné
R _m	1800	MPa	Mez pevnosti v tahu (<i>X12CrNi 17 7/K+A dle DIN EN 10270-3-1.4310-NS</i>)
τ _{kh} *	900	MPa	Max. dovol. napětí v krutu
S _p	1,2	-	Požad. min. souč. bezpeč.
G	70000	MPa	Modul pruž. ve smyku
D _p	22,6	mm	Volba střed. ø pružiny
d _p	1,365	mm	Výpoč. ø drátu
d _p	1,4	mm	Volba norm. ø drátu
i	16,143	-	Výpoč. poměru vinutí
K	1,079	-	Výpoč. Wahlova korekčního faktoru
τ _{k8}	166,090	MPa	Výpoč. max. napětí v krutu na norm. ø drátu
s	5,419	-	Výpoč. souč. bezpeč.
n	4,5	-	Výpoč. počtu činných závitů závitů
n _z	2	-	Volba počtu závěrných závitů pružiny (1+1)
n _c	6,5	-	Celkový počet závitů pružiny
C _p	648	N.m-1	Přepočet tuhosti pružiny pro úpravu střed. ø pružiny
D _p	22,6	mm	Přepočet volby střed. ø pružiny
D ₁	24,0	mm	Výpoč. max. vnější ø pružiny
D ₂	21,2	mm	Výpoč. min. vnitřní ø pružiny
τ _{k1}	92,804	MPa	Výpoč. napětí materiálu pružiny v krutu při stavu předpruženém
y ₁	6,3	mm	Výpoč. deformace pružiny při požadovaném předpětí
F ₁	4,1	N	Volené předpětí pružiny
y ₈	11,3	mm	Výpoč. deformace pružiny při max. zatížení
F ₈	7,3	N	Výpoč. max. zatěžující síly pružiny
y ₉	12,0	mm	Výpoč. deformace pružiny při dosednutí závitů
F ₉	7,7	N	Výpočet zatěžující síly při dosednutí závitů
L ₀	21,1	mm	Výpoč. volné délky pružiny
L ₁	14,7	mm	Výpoč. délky pružiny po montáži
L ₈	9,7	mm	Výpoč. délky pružiny při max. zatížení
L ₉	9,1	mm	Výpoč. délky pružiny při dosednutí závitů
v _{min}	0,14	mm	Výpoč. vůle mezi činnými závitů

Tab. 6.2: Zadané, volené a vypočtené hodnoty při návrhu pružiny ventilu

6.2.3 Těsnění

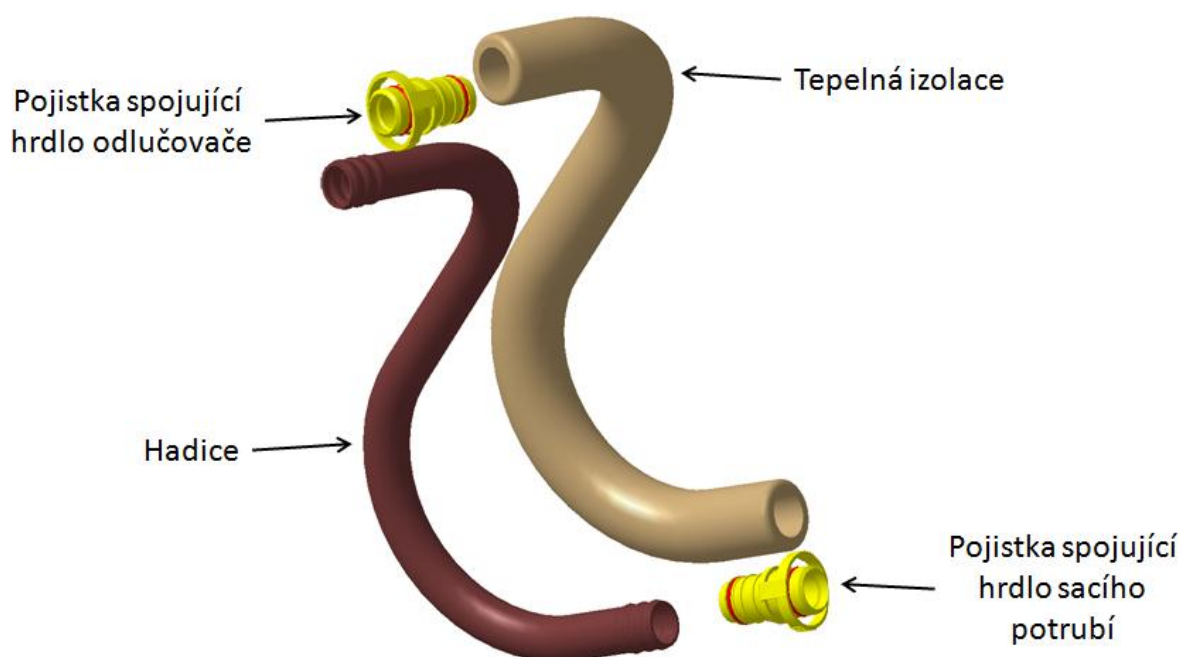
Těsnění kopíruje tvar drážky ve spodní části odlučovače a utěsňuje spoj mezi víkem hlavy válců a odlučovačem. Součástí těsnění jsou drobné výstupky pro správné usazení v drážce odlučovače. Materiál těsnění je AEM, které se vyrábí z ethylenu a akrylátového kaučuku. AEM má vynikající odolnost proti olejům a zvýšené teplotě, trvalé deformaci, má vysokou odolnost proti opakovanému ohybu a povětrnostnímu stárnutí, velkou pevnost a ohebnost za nízkých teplot.



Obr. 6.10: Zástavba těsnění v odlučovači

6.3 Odvětrávací hadice

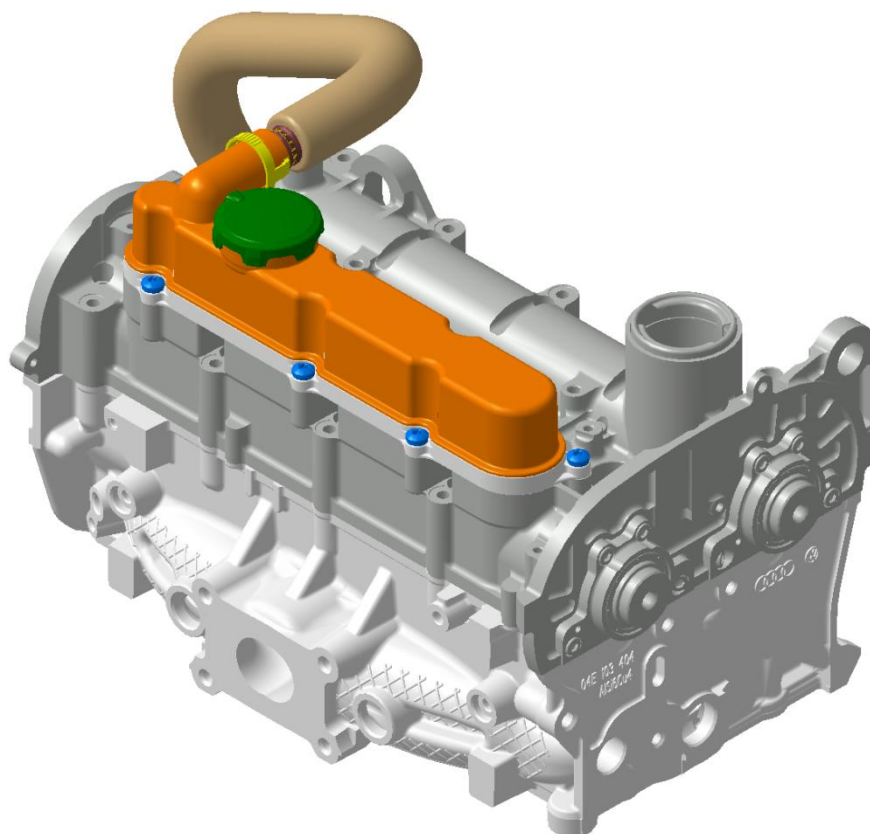
Předepsaný tvar odvětrávací hadice zajišťuje vhodné spojení pro přenos plynů mezi odlučovačem a sacím potrubím. Odvětrávací hadice se skládá z hadice (o vnitřním \varnothing 18 mm), dvou pojistek (jedna pro spojení s hrdlem odlučovače a druhá pro spojení s hrdlem sacího potrubí) a tepelné izolace. Rozpad odvětrávací hadice je uveden na obr. 6.11.



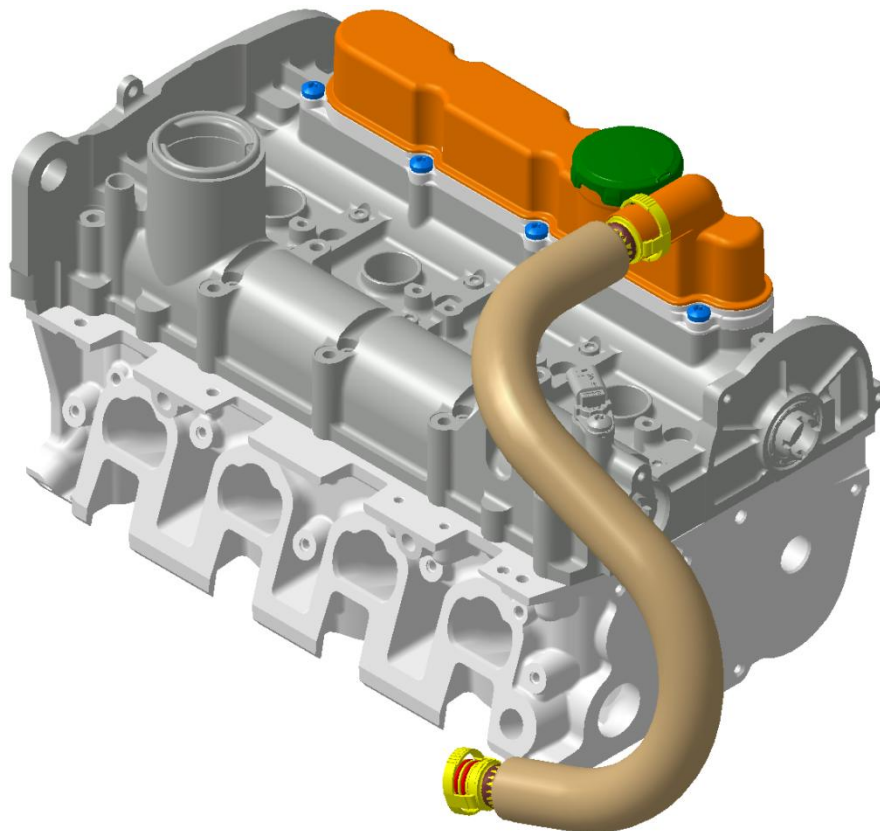
Obr. 6.11: Rozpad dílů odvětrávací hadice

Obě pojistky obsahují tři o-kroužky (jeden ve směru spojení s hadicí a dva ve směru spojení s odlučovačem či sacím potrubím) pro dokonalé utěsnění požadovaného spoje po zacvaknutí do hrdla odlučovače či sacího potrubí. Po spojení obou pojistek s hadicí dochází ve formě k nástřiku izolačního PUR (polyuretan) materiálu po obvodu hadice pro zvýšenou odolnost vůči nízkým teplotám. Materiál pojistek je PA66-GF30 (polyamid s 30% náplní ze skleněných vláken) a materiál hadice je PA6/12 (polyamid).

Pro ucelenější představu je na následujících obrázcích 6.12 a 6.13 zobrazena sestava odlučovače s víkem a hlavou válců s připojenou odvětrávací hadicí.



Obr. 6.12: Sestava odlučovače s víkem a hlavou válců s připojenou odvětrávací hadicí (1)

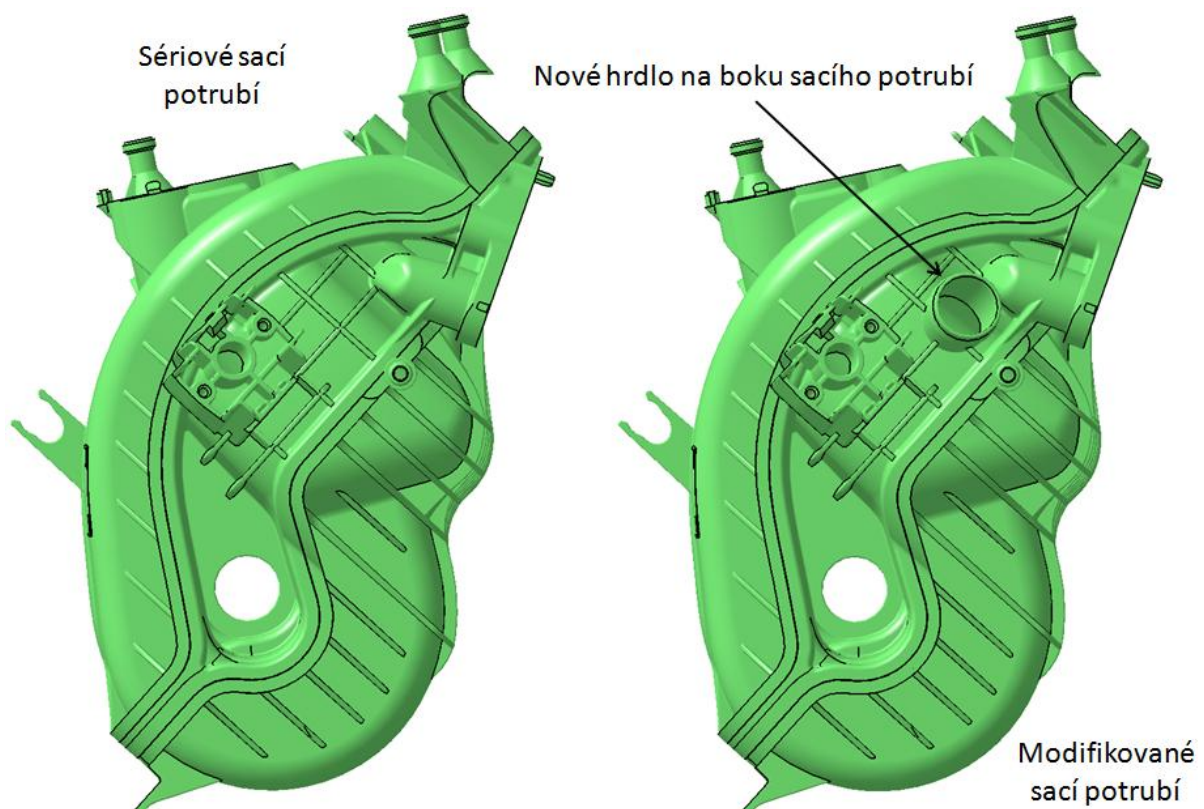


Obr. 6.13: Sestava odlučovače s víkem a hlavou válců s připojenou odvětrávací hadicí (2)

6.4 Modifikace sacího potrubí

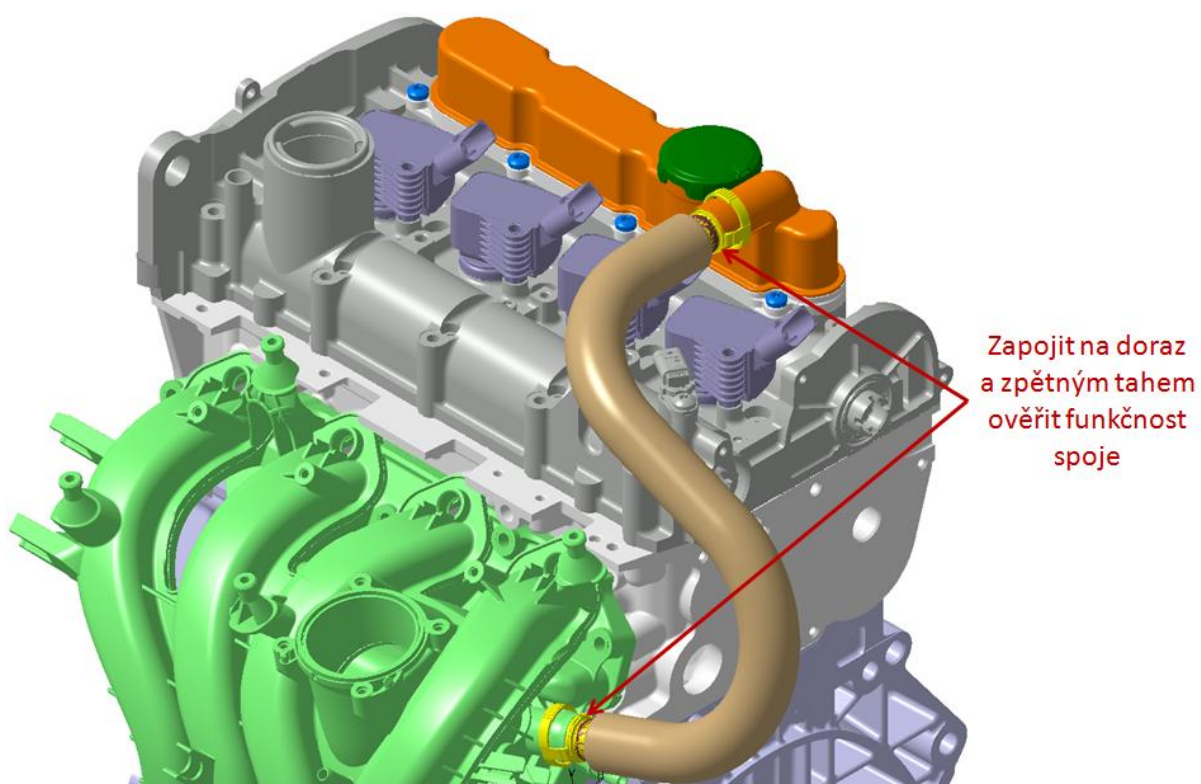
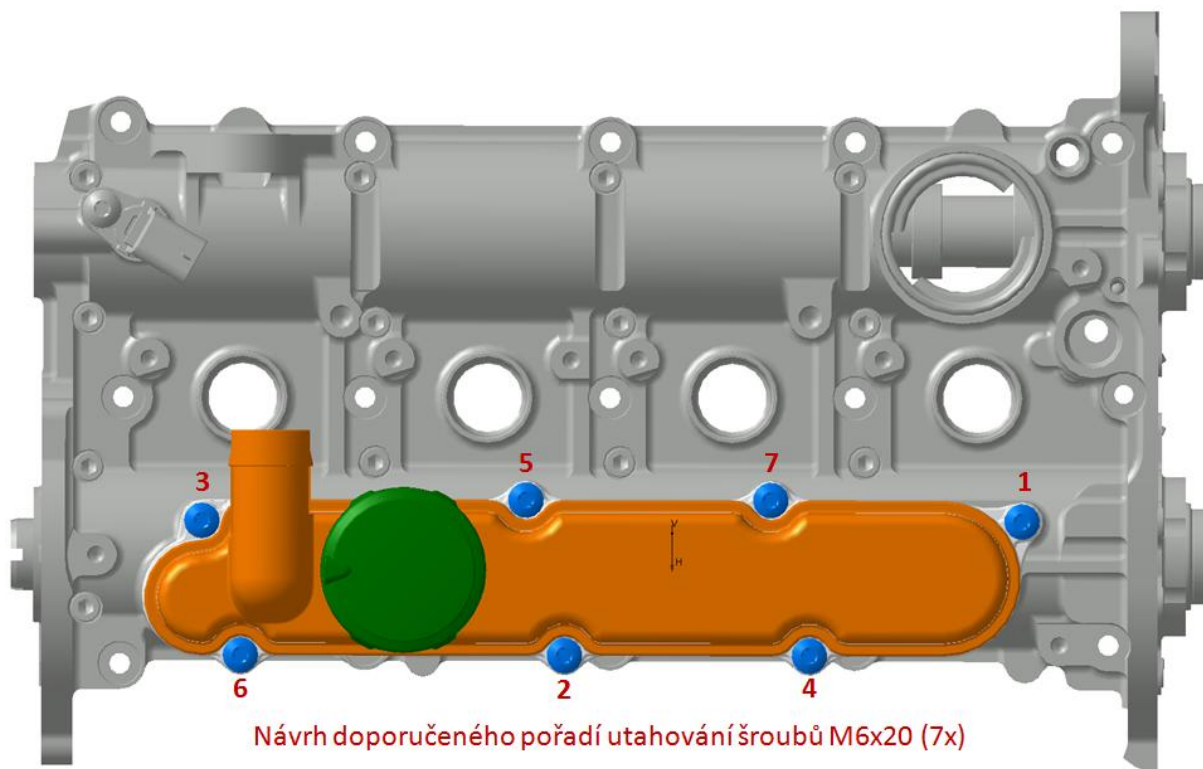
Změna polohy odlučovače do víka hlavy válců zapříčinila nezbytnou úpravu sacího potrubí pro dopravu plynů z odlučovače. Původní kanál v sacím potrubí je nyní nevyužit, neboť pro dopravu plynů jsou kanály v bloku a hlavě válců zaslepeny.

Modifikace byla provedena vedle držáku pro snímač tlaku nasávaného vzduchu na boku sacího potrubí, do kterého bylo zkonstruováno vstupní hrdlo pro připojení pojistky s odvětrávací hadicí. Tvar a poloha hrdla byli optimalizováni pro snadné připojení (zacvaknutí) bezpečnostní pojistky. Materiál sacího potrubí byl zachován ze sériové verze, a tedy PP-GF35 (polypropylen s 35% naplní ze skleněných vláken). Porovnání sériového a modifikovaného sacího potrubí je uvedeno na obr. 6.14.



Obr. 6.14: Porovnání sériového a modifikovaného sacího potrubí

6.5 Doporučené montážní pokyny



- Vizuálně kontrolovat přítomnost a správnou polohu těsnění odlučovače
- Vložit šrouby a každý utáhnout na požadovaný moment 9 Nm dle pořadí
- Odvětrávací hadici zapojit na doraz a zpětným tahem ověřit funkčnost spoje

7 Zhodnocení návrhu nového systému odvětrání klikové skříně

V následující tab. 7.1 je uvedeno porovnání konstrukčních řešení sériového a nově navrhovaného systému odvětrání klikové skříně.

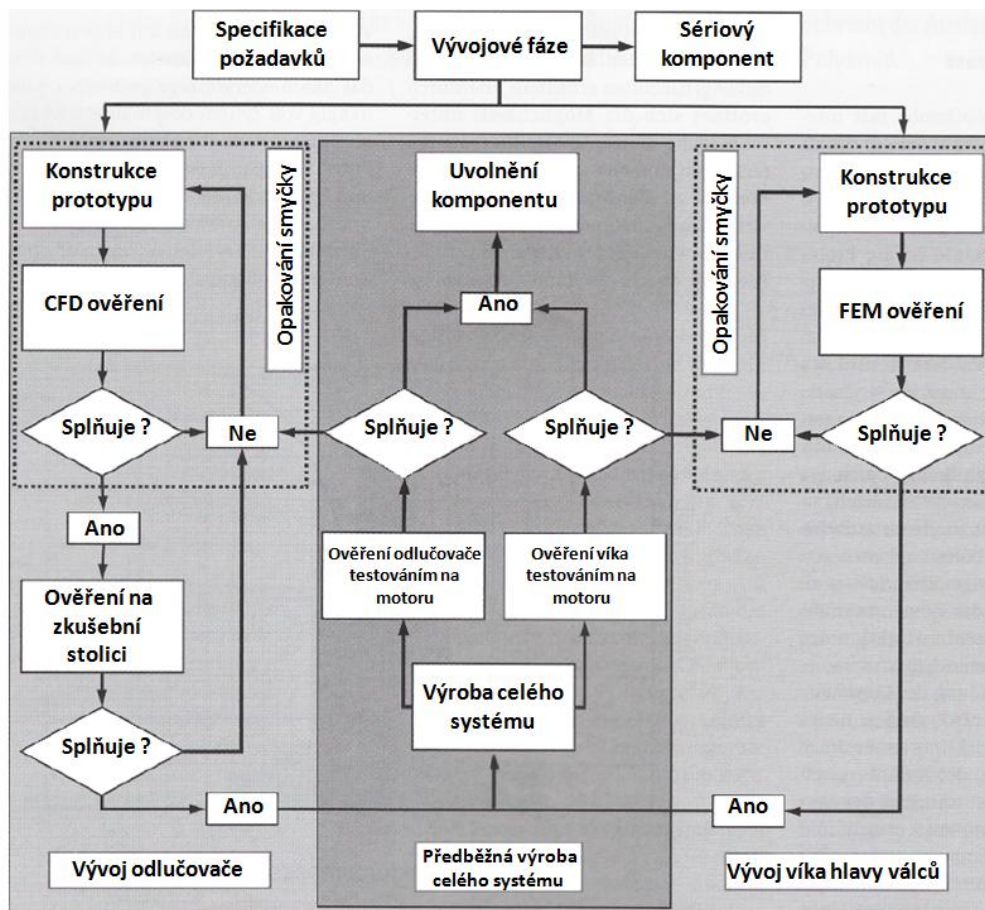
Funkce / Varianta	1	2	3	4	5
Místo odběru Blow-by plynů	Hlava válců	Blok válců			
Zásobování energií	Mechanicky	Elektricky	Pneumaticky	Hydraulicky	Podtlakem v sání
Fyzické oddělení	Filtrace	Odstředivá síla	Gravitační síla	Elektrostatická síla	Setrvačná síla
Vedení do sacího potrubí	Před škrticí klapku	Za škrticí klapku	Částečně před / za klapku		
Obrana proti zamrznutí	Elektrický ohřev	Ohřev chlazenou vodou	Izolace	Odpadní teplo motoru	Odpadní teplo výfukového systému
Zpětné vedení oleje	Nepřetržitě	Přerušované			
Řízení zpětného vedení oleje	Pod hladinu oleje	Nad hladinu oleje	Zpětné vedení	Sifon	
Regulace tlaku	Bez regulace	Částečně regulovatelný průtok	Škrticí ventil regulace	Škrticí ventil neregulovatelný	
Zajištění těsnosti	Tekuté těsnění	Gumové těsnění	Kovové těsnění		
Provětrání motoru	Hlava válců	Blok motoru			

Tab. 7.1: Porovnání konstrukčního řešení sériového a nově navrhovaného systému odvětrání klikové skříně (sériový červeně, nově navrhovaný zeleně a při shodě modře).

Z tabulky je zřejmé, že se oba systémy zásadně odlišují ve 4 případech (místem odběru blow-by plynů, řízením zpětného vedení oleje, zajištěním těsnosti a místem provětrání motoru čerstvým vzduchem). Rovněž ve 4 případech byl princip funkce systému zachován (u zásobování energií podtlakem v sacím potrubí, vedením do sacího potrubí za škrticí klapku, zpětným vedením odloučeného oleje nepřetržitě i přerušovaně a regulací tlaku škrticím ventilem regulace). Způsob fyzického oddělení a ochrana proti zamrznutí se liší pouze částečně, jelikož u sériového systému je využita k odlučování i odstředivá síla v mini cyklonech, a nově navrhovaný systém u ochrany proti zamrznutí využívá navíc tepelnou izolaci na odvětrávací hadici.

8 Návrh ověření funkčnosti nového systému odvětrání klikové skříně

Na obr. 8.1 je uvedeno blokové schéma, které znázorňuje stručný postup vývoje odlučovače a víka hlavy válců od první specifikace požadavků, přes postupné vývojové fáze až po výsledný sériový komponent.



Obr. 8.1: Blokové schéma vývoje odlučovače s víkem hlavy válců [16]

V úvodní části nového návrhu systému odvětrání klikové skříně, uvedeného v kapitole 5.1, byly specifikovány požadavky, přičemž následující vývojová fáze se zabývala počítačovou konstrukcí virtuálního 3D modelu.

Dnešní doba si žádá všechno řádně odzkoušet. Konečný úspěch spočívá v neustálém přezkušování a zdokonalování každého detailu. Tato činnost nikdy nekončí. Proto uvedené blokové schéma znázorňuje další procesy a postupy během vývoje odlučovače a víka hlavy válců. Po počítačové konstrukci virtuálního 3D

modelu v praxi následuje v případě odlučovače ověření proudění metodou CFD, a v případě víka hlavy válců ověření silového namáhání metodou FEM. V případě pozitivních výsledků vzniká předpoklad pro zahájení výroby fyzického prototypu nově navrhovaného systému odvětrání klikové skříňe pro ověření na zkušební stoličce či přímo na motoru.

Jak již bylo popsáno v kapitole 6.1, výroba prototypového víka hlavy válců bude zajištěna vyfrézováním z kusového materiálu. Výroba fyzického prototypu odlučovače bude provedena metodou Rapid prototyping, což je soubor technologií výroby prototypů pomocí 3D tisku. Virtuální 3D model součásti je rozdělen na tenké vrstvy, které se různými technologiemi vytváří z různých materiálů a vrství se na sebe, až vznikne finální prototyp. K ověření na zkušební stoličce, či přímo na motoru, bude použito sací potrubí, které již fyzicky existuje, a je využíváno ve firmě Škoda Auto a.s na zkušebně motorů ke zkouškám měření spotřeby oleje přes odlučovač za pomoci externího zařízení.

Při kladném výsledku prvních ověřovacích zkoušek s prototypovými díly je možné nasadit tento nový systém odvětrání při vývoji modifikované, či zcela nové generace této řady motorů. Následuje kompletní funkční ověření celého systému odvětrání v rámci nového projektu, včetně dlouhodobých zkoušek a speciální zkoušky zamrznutí v klimatizační komoře. Po pozitivním vyhodnocení všech zkoušek dochází k uvolnění dílů pro sériovou produkci.

V uvažovaném sériovém řešení by bylo realizováno vedení blow-by plynů zpět do sání přímo prostřednictvím kanálů v hlavě válců a sacím potrubím. Odpadla by tak hadice odvětrání, která byla společně s modifikovaným sacím potrubím uvažována pouze při aplikaci na již existující sériový motor, aby bylo možné nový systém odvětrání odzkoušet (s rozumnými náklady na výrobu prototypových dílů).

9 Závěr

Diplomová práce se v teoretické části zabývá základy odvětrání klikové skříně pístového spalovacího motoru, původem vzniku blow-by plynů a jejich typického složení, důvody jejich odvětrávání z klikové skříně a jejich vliv na součásti motoru.

Práce dále seznamuje s požadavky kladenými na systémy odvětrání klikové skříně, jako jsou regulace tlaku, odlučování oleje, volba vhodného místa odběru blow-by plynů, minimalizace rizika zamrznutí a konstrukce zpětného vedení oleje. Na konci teoretické části práce je podrobně popsán systém odvětrání klikové skříně zážehového motoru EA211 1,6l MPI 81kW, který je předmětem konstrukčních úprav, včetně kladů a záporů systému odvětrání.

Praktická část práce se zabývá návrhem nového systému odvětrání klikové skříně, na základě soupisu požadavků a analýzy vhodného řešení. Následuje popis konstrukce systému, skládajícího se z modifikace víka hlavy válců, odlučovače oleje, odvětrávací hadice a modifikace sacího potrubí včetně doporučených montážních pokynů a návrhu ověření funkčnosti nového systému odvětrání klikové skříně.

Praktická část práce zahrnuje výrobní výkresovou dokumentaci k navržené variantě, zaměřenou pouze na modifikované a nové díly. Zadavatel výrobní výkresovou dokumentaci specifikoval a v uvedené formě odsouhlasil.

Seznam použité literatury

- [1] AHLBORN, S., BLOMERIUS, H., SCHUMANN, H.: *Neue Wege in der Reinigung von Kurbelgehäuseentlüftungsgasen*
MTZ 07-08/1999, s. 454-459.
- [2] BENDL, K., COOLENS, H., GORBACH, G., GRUHLER, T.: *Leichte Kunststoff-Ventilhaube mit Integrierter Ölabscheidung*
MTZ 04/2010, s. 272-277.
- [3] BOSCH: *Crankcase ventilation*, p. 542-543
Robert BOSCH GmbH: Automotive Handbook 6th Edition, London, 2004.
- [4] BRODESSER, K., BRÜGGEMANN, D., SAUTER, H.: *Hocheffizientes Ölabscheidesystem für die Kurbelgehäuseentlüftung*
MTZ 03/2003, s. 180-184.
- [5] EBNER, H., JASCHEK, A.: *Die Blow-by-Messung-Anforderungen und Meßprinzipien*
MTZ 02/1998, s. 90-95.
- [6] GRIESINGER, E.: *Kompaktes Design, vielfältige Funktionen Ventilhaubenmodule von ElringKlinger*
MTZ 06/2003, s. 504-509.
- [7] KLIMEŠ, Z., KOVAČ, J., PÁV, K.: *ZKG Entlüftung EA211 1,6l MPI 81kW*
Prezentace, Škoda Auto a.s. Mladá Boleslav, 20.2.2013.
- [8] MAY, T., MEINIG, U., PIETSCHNER, S.: *Kurbelgehäuse-Entlüftung aktueller und zukünftiger Fahrzeugmotoren*
MTZ 10/2004 (s. 768-777), MTZ 11/2004 (s. 910-915).

- [9] MULTRUS, V.: *Pneumatické regulátory*, s. 81-85
SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha, 1967.
- [10] NITSCHKE, H.: *Experimentelle Untersuchung vorhandener Ölabscheidersysteme und konstruktive Gestaltung eines universellen Systems zur Reinigung der Blow-by-Gase an einem Ottomotor*
Studienarbeit, Institut für Mobile Systeme (IMS), Fakultät für Maschinenbau, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, März 2009.
- [11] PÁV, K.: *Measurement of blow-by gas composition*
XLV. International scientific conference of the Czech and Slovak university departments and institutions dealing with the research of internal combustion engines, September 10 – 11, 2014 - Kostelec nad Černými lesy.
- [12] SAUTER, H., TRAUTMANN, P.: *Messung und Abscheidung von Ölnebel aerosolen aus der Kurbelgehäuseentlüftung von Verbrennungsmotoren*
MTZ 12/2000, MTZ 01/2001.
- [13] ŠKODA SERVICE: *Zážehové motory řady EA211*
Dílenská učební pomůcka č. 101, Škoda Auto a.s. Mladá Boleslav, 2/2014.
- [14] TRAUTMANN, P.: *Ölabscheider für die Kurbelgehäuseentlüftung*
Prezentace, 2000.
- [15] WILHELM, CH.: *Optimierung der Zylinderkurbelgehäuseentlüftung eines aufgeladenen 4-Zylinderreihenottomotors mit Direkteinspritzung*
Diplomarbeit, Technische Universität Kaiserslautern, Juli 2004.
- [16] ZIEMER, W., ZSCHAU, A.: *In Zylinderkopphauben integrierte Ölnebelabscheider aus Polyamid*
MTZ 11/2008, s. 950-954.