

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta strojní

Ústav 12120 Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel



Konstrukce hlavy zkušebního jednoválce

Design of a Single Cylinder Engine Head

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bc. Michal SVOBODA

Studijní program: N2301 STROJNÍ INŽENÝRSTVÍ

Studijní obor: 2301T047 Dopravní, letadlová a transportní technika

Vedoucí práce: Ing. Jiří Vávra, Ph.D.

Praha 2017

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá úpravou hlavy válců. Nejprve se zaměřuje na její konstrukci, která se skládá z tvorby modelu odlitku, následně modelu obrobku. V této práci je vytvořena výkresová dokumentace hlavy válců a sestavy obrábění hlavy válců se sedly. Následuje základní CFD výpočet vodního prostoru, výpočet tepelného namáhání při okrajových podmínkách přeplňované a nepřepňované verze.

Klíčová slova: Konstrukce hlavy válců, model odlitku hlavy válců, model obrobku hlavy válců, výkresová dokumentace hlavy válců, výkresová dokumentace obrábění sestavy hlavy válců se sedly, CFD simulace vodního prostoru, tepelná analýza nepřepňované varianty hlavy válců, tepelná analýza přeplňované varianty hlavy válců.

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the cylinder head modification. First, it focuses on its structure, which consists of forming a casting model, then a model of the workpiece. In this work is drawn the drawing of the cylinder head and assembly drawings of the machining of the cylinder head with the seats. The following is the basic CFD calculation of the water jacket, the calculation of the thermal stress at the peripheral conditions of the supercharged and non-supercharged version.

Keywords: Cylinder head construction, cylinder head casting model, cylinder head workpiece model, cylinder head drawing documentation, drawing documentation of machining of the cylinder head assembly with seats, CFD simulation of the water jacket, thermal analysis of the non-supercharged cylinder head version, thermal analysis of the supercharged cylinder head version.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Svoboda** Jméno: **Michal** Osobní číslo: **397275**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní, letadlová a transportní technika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Konstrukce hlavy zkušebního jednoválce

Název diplomové práce anglicky:

Design of a Single Cylinder Engine Head

Pokyny pro vypracování:

Připravte konstrukční podklady pro výrobu odlitku (tj. 3D CAD model odlitku případně model pro aditivní výrobu) hlavy válce motoru s vrtáním 74,5 a zdvihem 85,9 mm. Navrhněte vhodné umístění senzorů podle dodaných požadavků. Připravte 3D CAD model a výrobní výkres obráběných ploch včetně obrábění v sestavě. Pomocí 3D CFD proveďte kontrolu proudění chladicí kapaliny v hlavě válce. Proveďte kontrolu tepelného namáhání hlavy při maximálním výkonu motoru atmosférické plnění a pro motor s přeplňováním.
odborný konzultant Ing. Jindřich Hořenín (ČVUT v Praze), Ing. Jan Hradiský (ŠKODA AUTO a.s.)

Seznam doporučené literatury:

Manuály ke zkušebnímu jednoválci a příslušenství AVL 5404_088
CAD data od průmyslového partnera.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Jiří Vávra Ph.D., ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **19.04.2017**

Termín odevzdání diplomové práce: **12.07.2017**

Platnost zadání diplomové práce: _____

Podpis vedoucí(ho) práce

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

25.4.2017

Datum převzetí zadání

Svoboda

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce pana Ing. Jiřího Vávry, Ph.D. a pod vedením odborných konzultantů pana Ing. Jindřicha Hořenína a pana Ing. Jana Hradiského a s použitím uvedené literatury.

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Jiřímu Vávrovi, PhD. za vedení a odborné rady při psaní této práce. Dále bych chtěl poděkovat odborným konzultantům, panu Ing. Jindřichu Hořenínovi, panu Ing. Janu Hradiskému. V neposlední řadě panu Ing. Milanu Rudolfovi a ostatním členům vývojového týmu ve společnosti ŠKODA AUTO a.s.

OBSAH

1	ÚVOD	8
2	PŘESTAVBA VZNĚTOVÉHO MOTORU NA ZÁŽEHOVÝ	9
2.1	MOTOR AVL 5402	10
2.2	MOTOR ŠKODA	11
2.3	POŽADAVKY NA MOTOR ŠKODA	12
2.4	POŽADAVKY NA HLAVU VÁLCŮ ŠKODA	12
3	MODELOVÁNÍ HLAVY VÁLCŮ	13
3.1	ODLITEK HLAVY VÁLCŮ	13
3.1.1	Konstrukce vodního prostoru	14
3.1.2	Konstrukce olejového prostoru	16
3.2	OBROBEK HLAVY VÁLCŮ	17
3.2.1	Pohled zleva	18
3.2.2	Pohled zprava	18
3.2.3	Pohled zepředu	19
3.2.4	Pohled zezadu	19
3.2.5	Pohled zesponu	20
3.2.6	Pohled seshora	20
3.2.7	Přívod tlakového oleje	21
4	PŘÍSLUŠENSTVÍ HLAVY VÁLCŮ	22
4.1	SÉRIOVÉ PŘÍSLUŠENSTVÍ HLAVY VÁLCŮ	22
4.2	SNÍMAČE V HLAVĚ VÁLCŮ	23
4.2.1	Snímače v sacím kanále	23
4.2.2	Snímače ve výfukovém kanále	23
4.2.3	Snímače ve spalovacím prostoru	23
5	VÝPOČTY HLAVY VÁLCŮ, OBECNÝ ÚVOD	25
5.1	POČÍTAČOVÁ MECHANIKA TEKUTIN	25
5.2	ÚVOD DO TEPELNÉHO NAMÁHÁNÍ	26
5.2.1	Šíření tepla	27
6	VÝPOČTY HLAVY VÁLCŮ, POSTUP	30
6.1	STRUKTURA VÝPOČTU	30
6.2	ÚPRAVA GEOMETRIE A NASTAVENÍ SÍTĚ	31
6.3	FYZIKÁLNÍ PODMÍNKY	34
6.4	OKRAJOVÉ PODMÍNKY	37
6.4.1	Okrajové podmínky nepřepřňované verze	37
6.4.2	Okrajové podmínky přepřňované verze	43
7	VÝPOČTY HLAVY VÁLCŮ, VÝSLEDKY	49
7.1	VÝSLEDKY CFD	49
7.1.1	Výsledky verze 1	49
7.1.2	Výsledky verze 2	52
7.1.3	Výsledky verze 3	53
7.1.4	Porovnání jednotlivých variant	54
7.1.5	Zvolená varianta	56

7.2	VÝSLEDKY TEPELNÉHO NAMÁHÁNÍ.....	58
7.2.1	Výsledky simulace nepřepřlňované varianty	58
7.2.2	Výsledky simulace přepřlňované varianty	65
7.2.3	Porovnání přepřlňované a nepřepřlňované varianty	68
8	ZÁVĚR.....	70
9	CITOVANÁ LITERATURA.....	72
	SEZNAM OBRÁZKŮ	74
	SEZNAM TABULEK.....	76
	SEZNAM GRAFŮ	77
	SEZNAM POUŽITÉ SYMBOLIKY	78
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	78
	SEZNAM PŘÍLOH.....	80

1 ÚVOD

S ohledem na budoucnost je stále potřeba vyvíjet spalovací motory, i přestože elektromobily již mají na trhu svůj vzrůstající podíl. Trend se v průběhu let měnil. Nyní jsou kladeny velké požadavky na snižování emisí. Toho lze například docílit downsizingu, vypínáním válců, zkoušením alternativních paliv, systémem start a stop.

Pro vývoj spalovacích motorů slouží experimentální motory, které jsou nejčastěji používány v laboratořích. Měření a testování na experimentálních motorech je přenositelné do praxe, a to zejména pro spalovací motory umístěné v automobilech.

Projekt, pod kterým je vytvářena tato práce, je veden Centrem kompetence automobilového průmyslu Josefa Božka (CKAPJB). Jedná se o spolupráci firmy Škoda Auto a.s. a Českého vysokého učení technického (ČVUT). Na straně ČVUT je jednoválcový experimentální motor od firmy AVL 52 10, který by měl být přestavěn na jednoválcový experimentální motor, co nejvíce geometricky podobný motoru 1.6 MPI od firmy Škoda Auto a.s. V průběhu projektu se upravilo zadání a výsledný motor by měl být shodný s motorem 1.5 MPI a v této práci se bude nazývat motor Škoda. Motor AVL se tedy přestavbou změní ze vznětového motoru na zážehový.

Cílem této práce je zkonstruovat 3D CAD modely hlavy válců, model obrobku a odlitku. Také vytvořit výkresové dokumentace hlavy válců a obráběné sestavy hlavy válců se sedly. Dále potom výpočet CFD simulace, a to z důvodu posouzení průtoku chladicí kapaliny v jednotlivých místech vodního prostoru. Následně výpočet tepelného namáhání hlavy válců, pro nepřepřehnanou a přepřehnanou variantu. V poslední řadě tyto varianty porovnat.

2 PŘESTAVBA VZNĚTOVÉHO MOTORU NA ZÁŽEHOVÝ

Experimentální jednoválcové motory jsou převážně používány inženýry, vědci a studenti. Slouží k vývoji procesu spalování, analýze opotřebení komponentů a výzkumu alternativních paliv. Výhodou jednoválcové jednotky je lepší přístup do spalovací komory, což umožňuje lepší umístění snímačů pro měření požadovaných veličin.

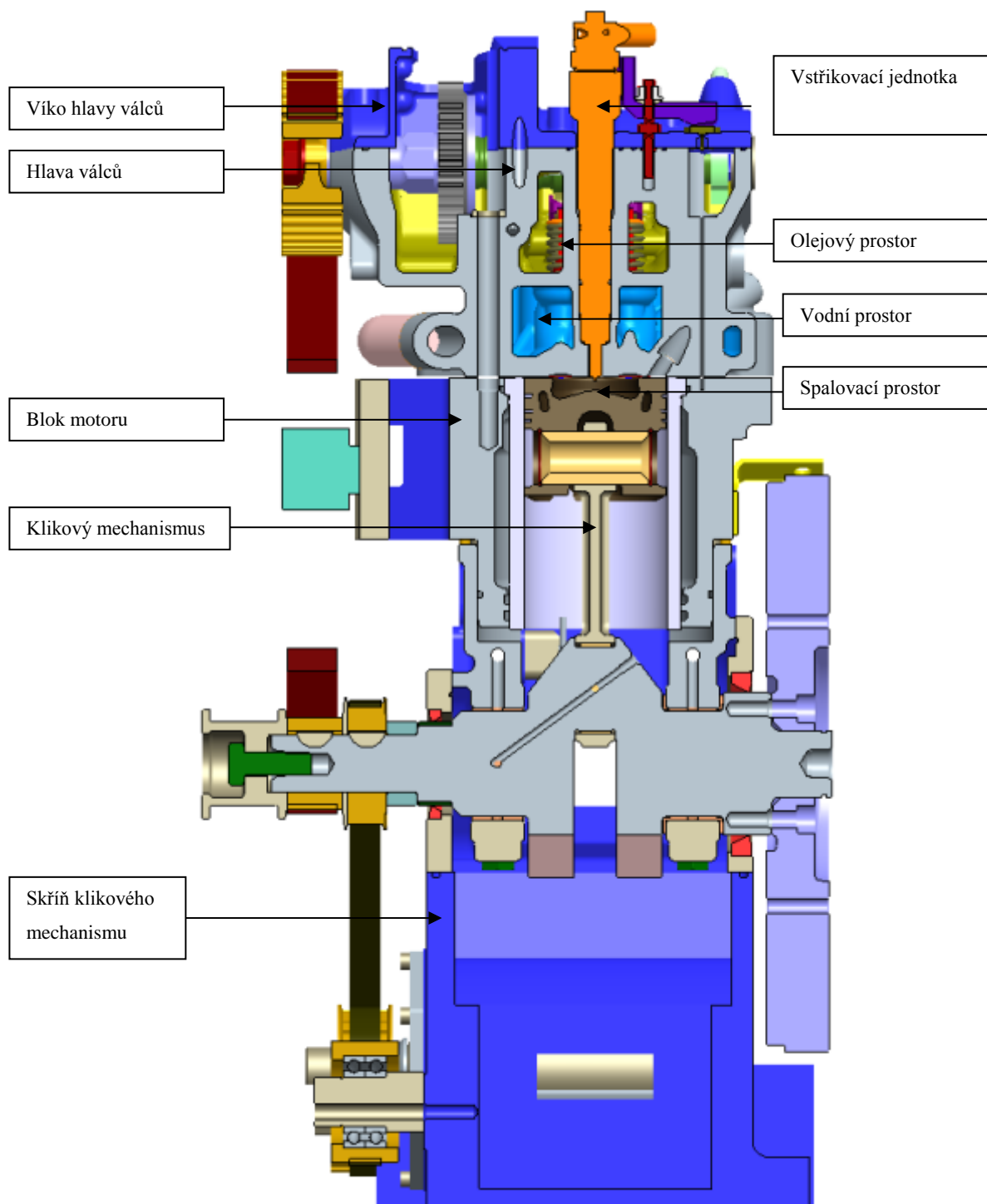
V laboratořích ČVUT v Rožtokách je umístěn jednoválcový vznětový experimentální motor od firmy AVL. Ten je potřeba upravit na nový jednoválcový experimentální motor, který bude ovšem zážehový. Nový experimentální motor měl být původně co nejvíce geometricky podobný motoru 1.6 MPI. V průběhu projektu se však upravilo několik požadavků, například jedním z nich je spalovací tlak minimálně 130 bar. Díky těmto požadavkům se změnily některé komponenty, což vyžadovalo optimalizaci referenčního motoru, kterým se následně stal motor 1.5 MPI.

ČVUT bude mít v laboratoři v Rožtokách nový jednoválcový motor, na kterém se budou zkoušet alternativní paliva, měřit okamžité tlaky v sacím kanále, výfukovém kanále a střešchovitém spalovacím prostoru. Firma ŠKODA AUTO a.s. bude moci změřené výsledky použít ve vývoji sériových motorů.

Na novém jednoválcovém motoru pracuje více studentů. Každý z nich má na starosti jednotlivou část motoru, která se bude modifikovat, nebo vytvářet nová. Jsou jimi: víko hlavy válců, hlava válců, blok motoru, klikový mechanismus, kliková skříň a těsnění hlavy válců.

2.1 Motor AVL 5402

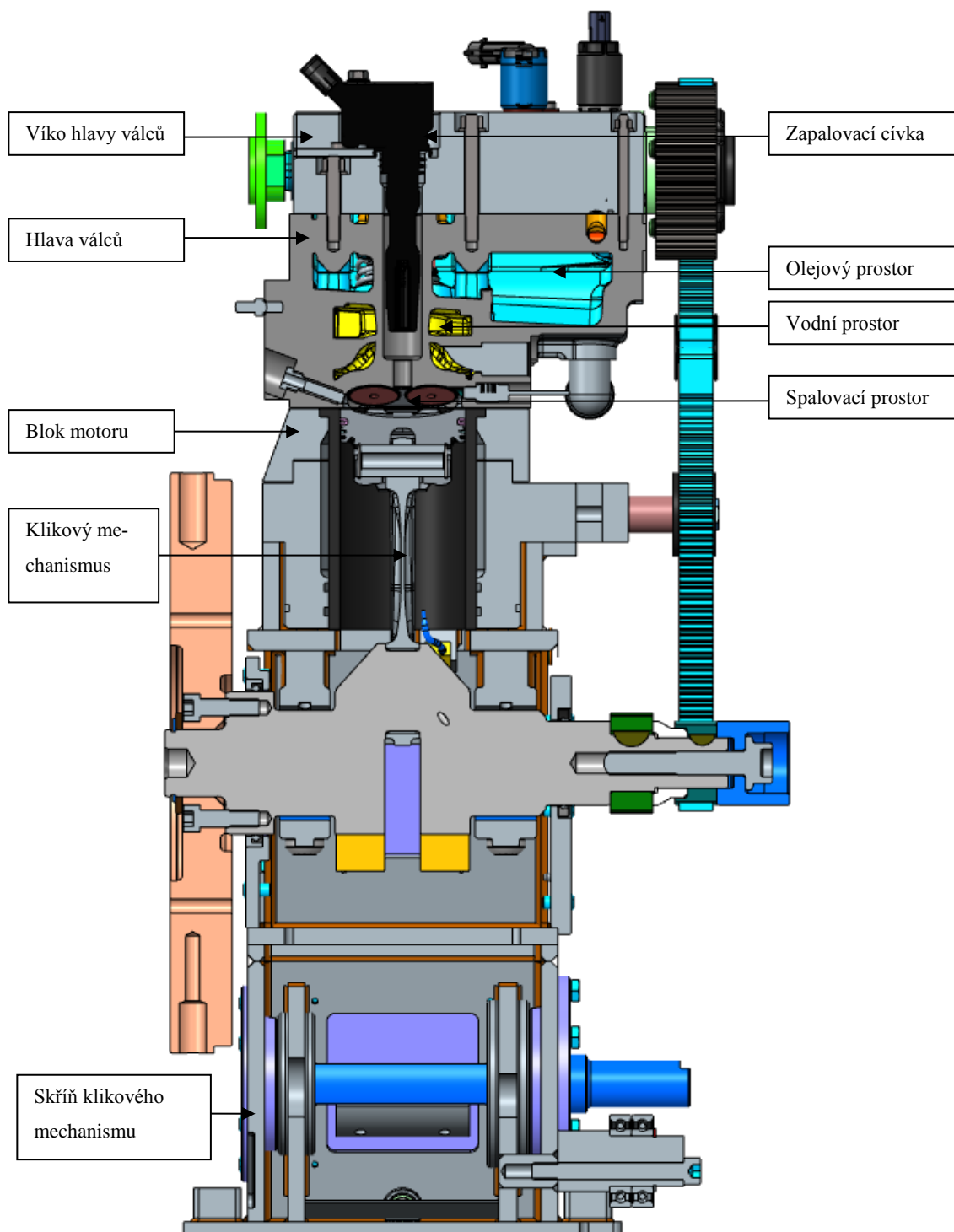
Vznětový jednoválcový čtyřdobý experimentální motor s přímým vstřikem paliva do spalovacího prostoru od firmy AVL, který se přestavuje.



Obrázek 1: Jednoválcový motor AVL 5402

2.2 Motor Škoda

Současná podoba modelu - nového zážehového jednoválcového čtyřdobého experimentálního motoru Škoda.



Obrázek 2: Motor Škoda v současné podobě

2.3 Požadavky na motor Škoda

Důležité parametry jsou uvedeny v tabulce a porovnány s hodnotami motoru AVL 5402. Vrtání a zdvih nového motoru Škoda jsou totožné s jednotkou 1.5 MPI, která sloužila jako referenční.

Tabulka 1: Porovnání parametrů motoru AVL a motoru Škoda

Typ motoru	AVL 5402	Škoda
Vrtání	85	74,5
Zdvih	90	85,9
Zdvihový objem	511	374
Počet cyklů	4	4
Palivo	Diesel	Benzín
Max. spalovací tlak	150	130
Ventilový rozvod	DOHC	DOHC

2.4 Požadavky na hlavu válců Škoda

Konstrukce nové hlavy válců pro motor Škoda byla vytvořena z původních požadavků, které vycházejí z vnitřních objemů motoru 1.6 MPI. Spalovací prostor sériové varianty 1.6 MPI je totožný se spalovacím prostorem motoru 1.5 MPI, který je zvolen jako referenční motor pro přestavbu. Proto je tedy možné tuto hlavu použít do nového motoru Škoda.

Hlava válců v této diplomové práci, je první verzí vyvíjenou pro motor Škoda. Další verze by měla být připravena na přímé vstřikování a přeplňování (z vnitřních objemů se musí změnit minimálně sací kanál) a na vypínání ventilů (vyžaduje úpravu olejového prostoru). Proto je požadavkem zjistit, jestli je schopna vydržet přeplňování již tato první verze.

Tabulka 2: Základní požadavky na motor Škoda

Identifikace tlaku ve válci - prostor pro snímač GU22C ve štítu střešovitého spalovacího prostoru
Okamžitý tlak v sacích kanálech
Okamžitý statický tlak ve výfukových kanálech
PFI a GDI vstřikování

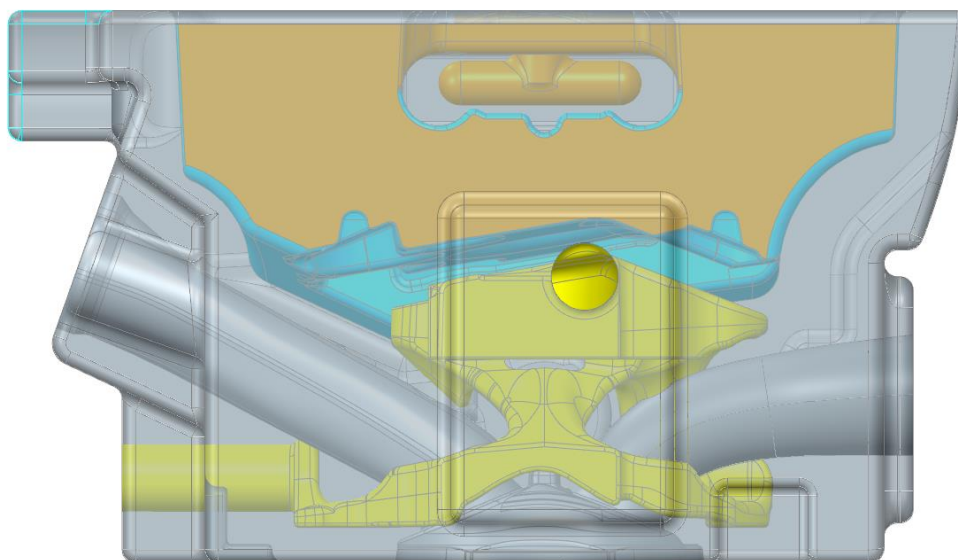
3 MODELOVÁNÍ HLAVY VÁLCŮ

V této kapitole je popsán model hlavy válců a jeho jednotlivé části. Je zde uvedeno, jak se tento model postupně tvořil. Nejprve se vytvořil 3D CAD model odlitku z vnitřních objemů, dále se vytvořil 3D model obrobku postupným fiktivním odebráním ploch z modelu odlitku.

Konstruování probíhá tak, že v jedné sestavě je umístěn 3D model obrobku a 3D model odlitku. Tyto modely jsou na sobě závislé. Při provedení modifikace odlitku následuje regenerace sestavy a provedená úprava se projeví i na 3D modelu obrobku.

3.1 Odlitek hlavy válců

Odlitek jednoválcové hlavy válců tvoří vnitřní objemy, které byly převzaty ze sériové čtyřválcové hlavy motoru 1.6 MPI od firmy Škoda. Jsou to: sací kanál, spalovací prostor, výfukový kanál, vodní prostor a olejový prostor. Sací kanál a spalovací prostor nebyly nijak dále upravovány. Vodní a olejový prostor byly převzaty ze série a následně upraveny dle kritérií jednoválcové hlavy. Výfukový kanál byl zkonstruován kompletně nový, tak aby se co nejvíce přibližoval svou geometrií sériovému kanálu. Tyto vnitřní objemy se dále odečetly od kvádra a vznikl odlitek.



Obrázek 3: Odlitek hlavy válců

Na obrázku 3 je vidět pohled z pravé strany - z pohledu sacího kanálu. Na levé straně je sací kanál, uprostřed dole je spalovací prostor, na pravé je výfukový kanál. Žlutou barvou je tvořen vodní prostor. Oranžovou a modrou barvou je tvořen olejový prostor.

3.1.1 Konstrukce vodního prostoru

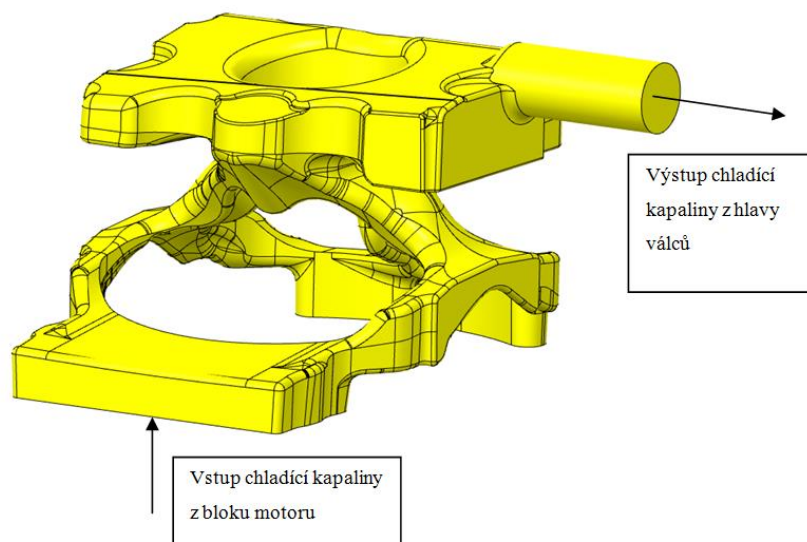
Chlazení spalovacího motoru spočívá v odvádění tepla z jeho nadměrně ohřivaných částí. Ideální spalovací teplota motoru je kolem 80°C až 95°C chladicí kapaliny, u novějších motorů to bývá 90°C až 115°C.

Při odvádění tepla vlivem chlazení dochází k jeho ztrátám, ale je potřeba teplo odvádět, jinak by totiž mohlo vlivem vysoké teploty dojít například k zadření pístu ve válci, nebo k různým tepelným roztažnostem. Z celkového množství tepelné energie přivedené v palivu se chlazením ztrácí 20% až 25% u vznětových motorů a 25% až 30% u zážehových motorů. [1]

Spalovací motory mohou být chlazené vzduchem, kapalinou nebo kombinací obojího. V našem případě nový motor Škoda bude chlazen kapalinou. Chladicí kapalina sériového motoru škoda 1.6 MPI, ze kterého je vodní prostor převzat a upraven, vstupuje do bloku motoru přes hlavu válců, proudí kolem jednotlivých válců a směřuje do hlavy válců, kde protéká nazpět kolem spalovacích prostorů jednotlivých válců. Chladicí kapalina pak vystupuje dvěma výstupy, kde jeden slouží k výstupu vody z bloku a druhý z hlavy válců.

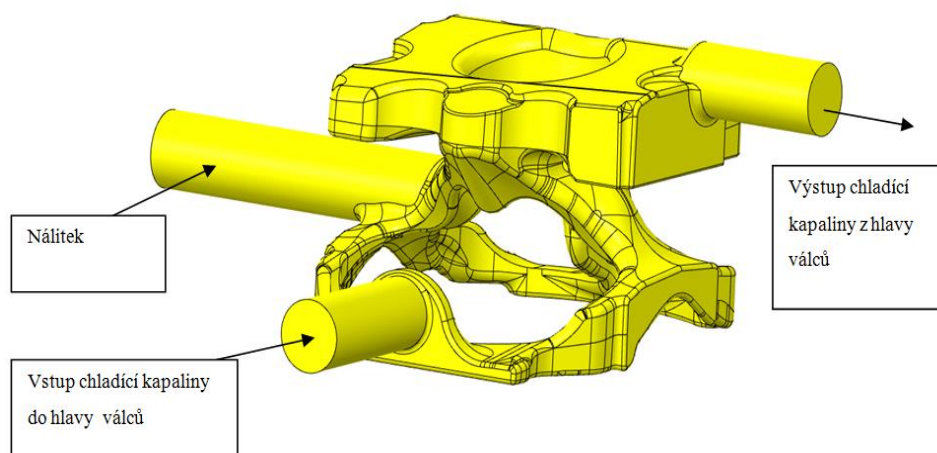
Nový vodní prostor pro motor Škoda byl převzat ze sériového motoru 1.6 MPI, a jelikož byl původně čtyřválcový, bylo z něj nutné udělat jednoválcový. Bylo na něm tedy provedeno několik konstrukčních úprav, například celkové zkrácení, odebrání ledvin nad omega žebry, kde v sérii proudí voda, u jednoválce by stála.

Na obrázku 4. je vidět, jak by fungoval nový jednoválcový vodní prostor motoru Škoda, kdyby byl propojen s blokem motoru, jak je tomu u motoru 1.6 MPI. Při výrobě hlavy válců odléváním se jádra jednotlivých vnitřních objemů usadí do formy.



Obrázek 4: Vodní prostor z řešení jako v sériovém případě

U nového motoru Škoda budou vodní prostory hlavy válců a bloku motoru oddělené. Výhodou oddělených prostorů je lepší měření průtokových bilancí ve dvou výše zmíněných komponentech. Další výhodou je regulace průtoku chladicí kapaliny v obou komponentech zvlášť- jak do bloku, tak do hlavy. Nevýhodou by mohlo být horší chlazení komponentů. Při výrobě sériové hlavy válců odléváním se jádra jednotlivých vnitřních objemů usadí do formy. Tento model vodního prostoru motoru Škoda ale nemůže být usazen při výrobě do formy, a to z důvodu nespojeného vodního prostoru hlavy válců a bloku motoru. Pro uchytení jádra je třeba minimálně třech úchytných bodů. Jsou jimi vstup, výstup a nálietek.



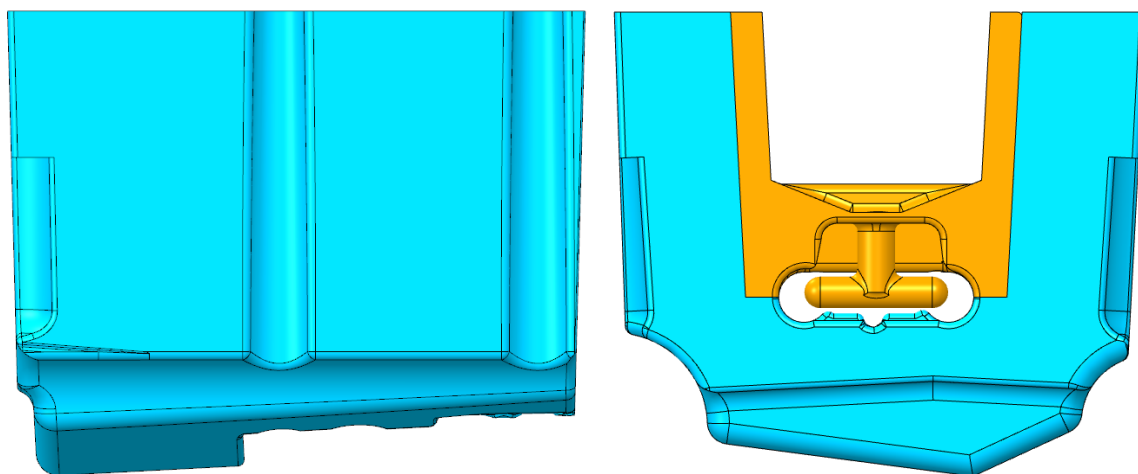
Obrázek 5: Nově řešený vodní prostor

3.1.2 Konstrukce olejového prostoru

Olej jako mazivo má za úkol zabránit bezprostřednímu styku povrchů při vzájemném pohybu a tím snížit tření mezi nimi, a tedy jejich opotřebení. Maziva mohou být uhlovodíková, nebo neuhlovodíková. Ta uhlovodíková se získávají z ropy, nebo synteticky. Neuhlovodíková bývají přírodního původu, nebo syntetická.

U spalovacích motorů jde především o mazání velkého počtu různých třecích uzlů při neustále se měnících podmínkách, kromě toho je nutné brát v potaz i řadu dalších jevů, jako stárnutí oleje během provozu, tvorbu oxidačních provozů, laků, úsad, kalů, karbonů, znečišťování oleje mechanickými částicemi různého původu, palivem nebo jeho podíly a dalšími četnými vlivy. Pracovní teplota motoru může odpovídat teplotám oleje až kolem 125°C. [2]

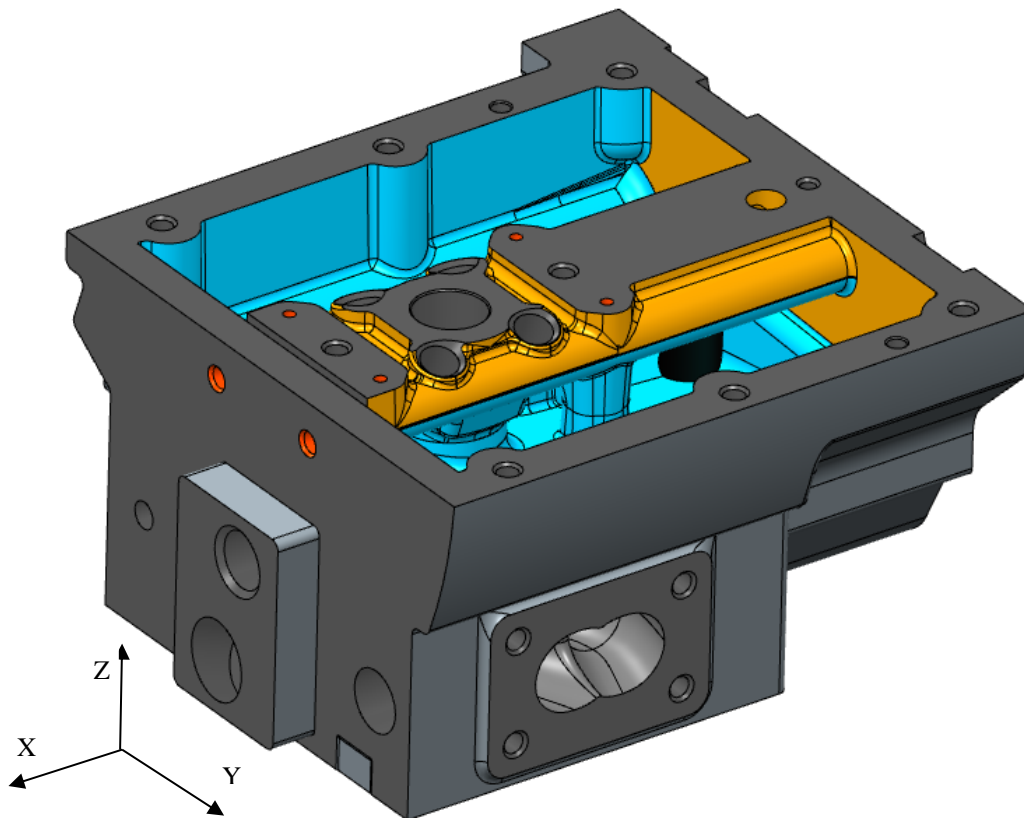
Zástavba starších koncernových motorů řady EA 111 byla pojata ve formě předklonu (motor nakloněn na výfukovou stranu ve směru jízdy). U novější řady EA 211 je motor zakloněn (naklonění na výfukovou stranu proti směru jízdy) o 12 stupňů. Důvodů je hned několik. Například motor je přesněji usazen do karoserie a zabírá méně místa, dochází také k lepšímu odvodu výfukových plynů. Díky této zástavbě je sériová hlava válců EA 211 konstruována tak, aby její odpad oleje v olejovém prostoru byl v nejnižší poloze při běžném provozu. Nový motor Škoda bude umístěn v laboratoři a sloužit k experimentům, proto není třeba nějak naklápět z důvodu úspornosti místa. Proto olejový prostor nově zkonstruované hlavy válců byl upraven tak, aby byl odpad oleje usazen v jeho nejnižším místě. [3]



Obrázek 6: Olejový prostor

3.2 Obrobek hlavy válců

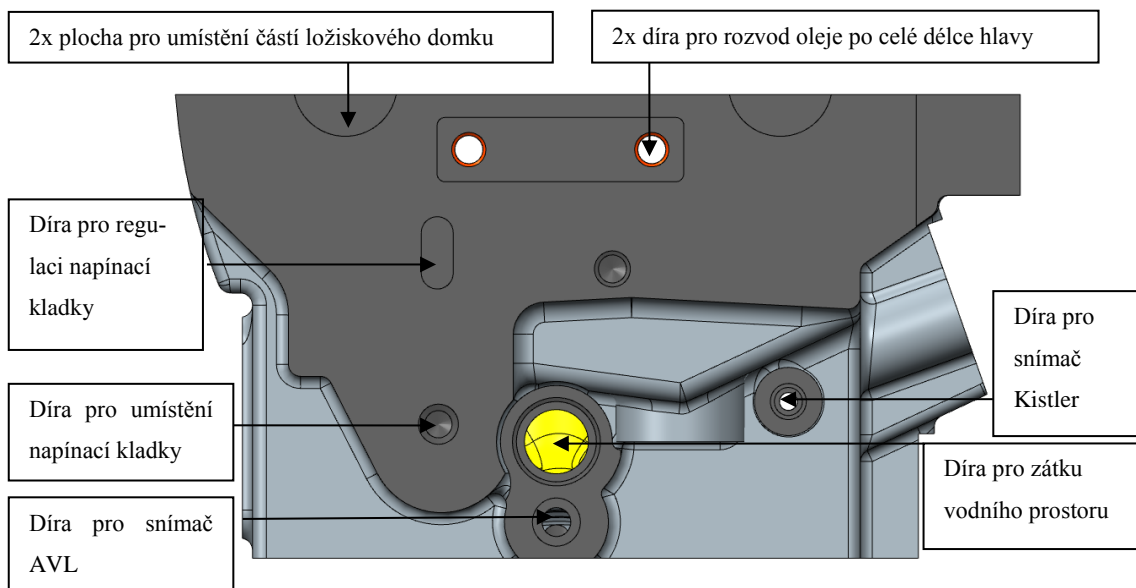
Z odlitku hlavy válců se vytvořil obrobek postupným obráběním funkčních ploch. Obrobek tvoří konečný požadovaný výrobek. Na obrázku lze vidět izometrický pohled ze strany výfukového kanálu.



Obrázek 7: Obrobek hlavy válců

3.2.1 Pohled zleva

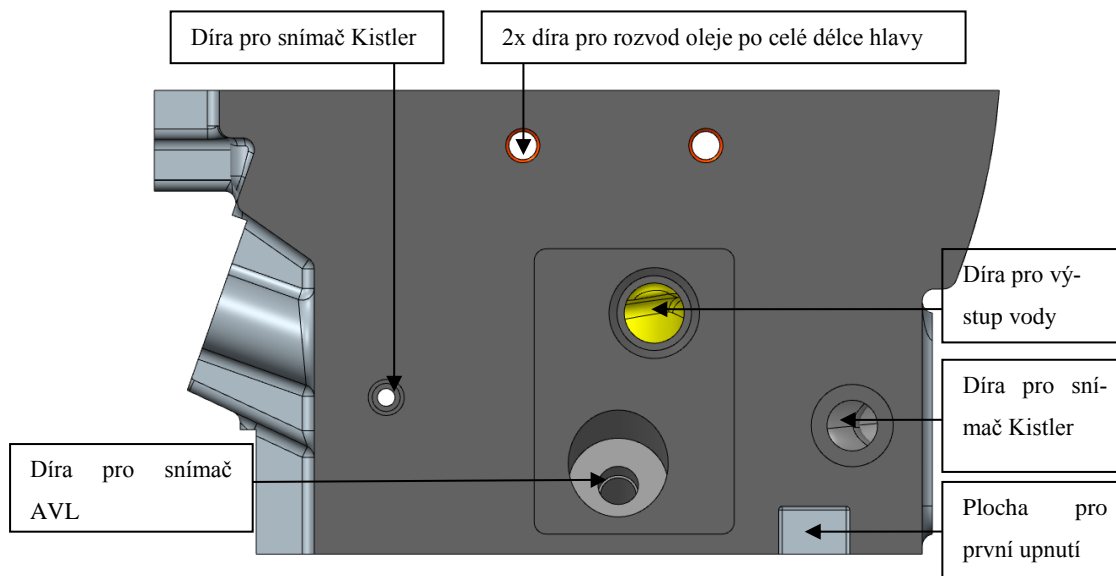
Je popsán v rovině -YZ



Obrázek 8: Pohled zleva

3.2.2 Pohled zprava

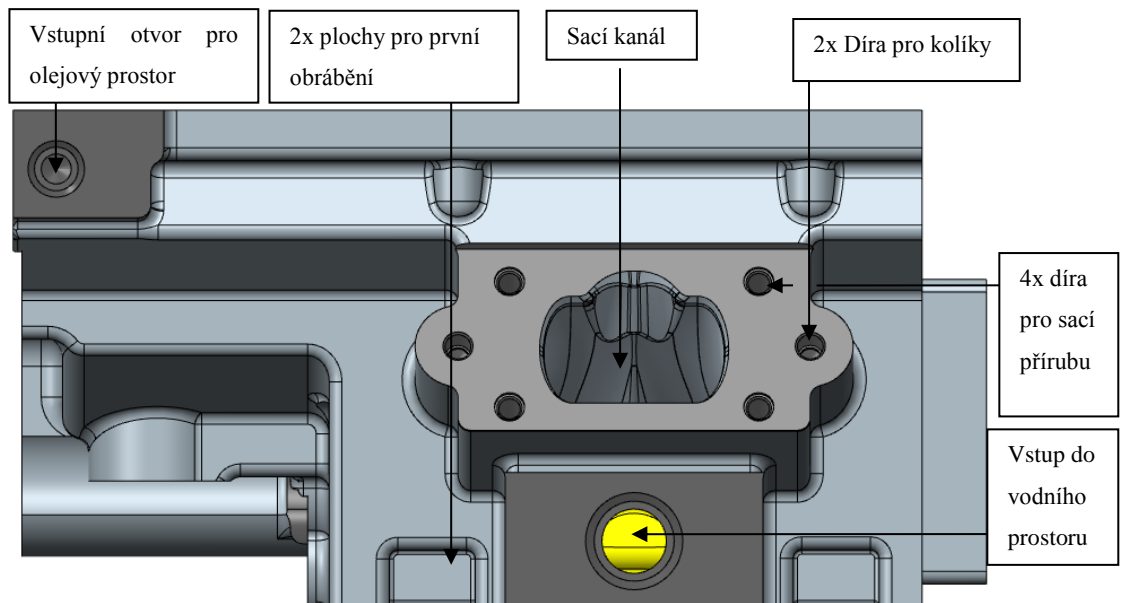
Popsán rovinnou YZ



Obrázek 9: Pohled zprava

3.2.3 Pohled zepředu

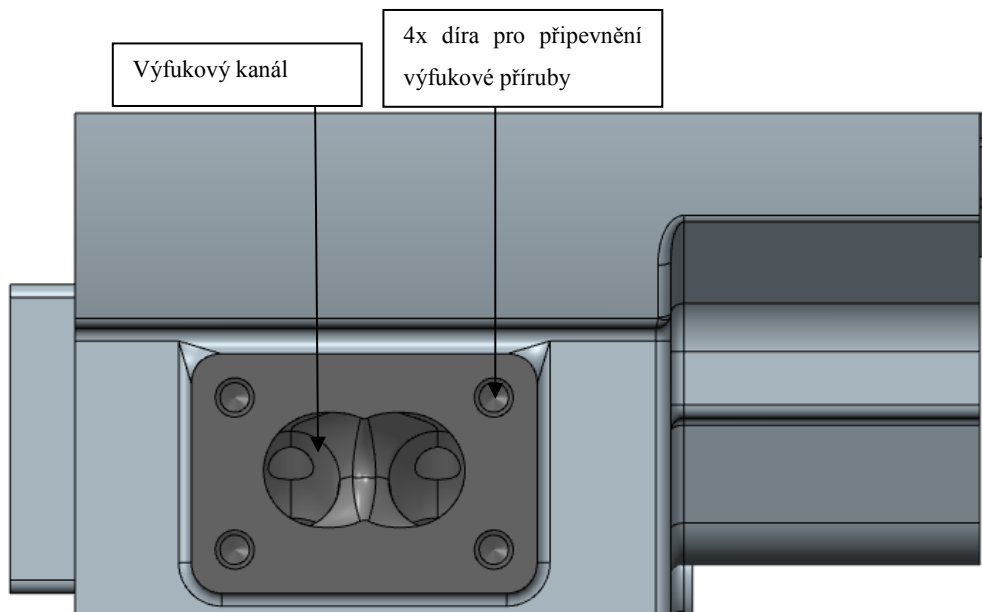
V rovině XZ



Obrázek 10: Pohled zepředu

3.2.4 Pohled zezadu

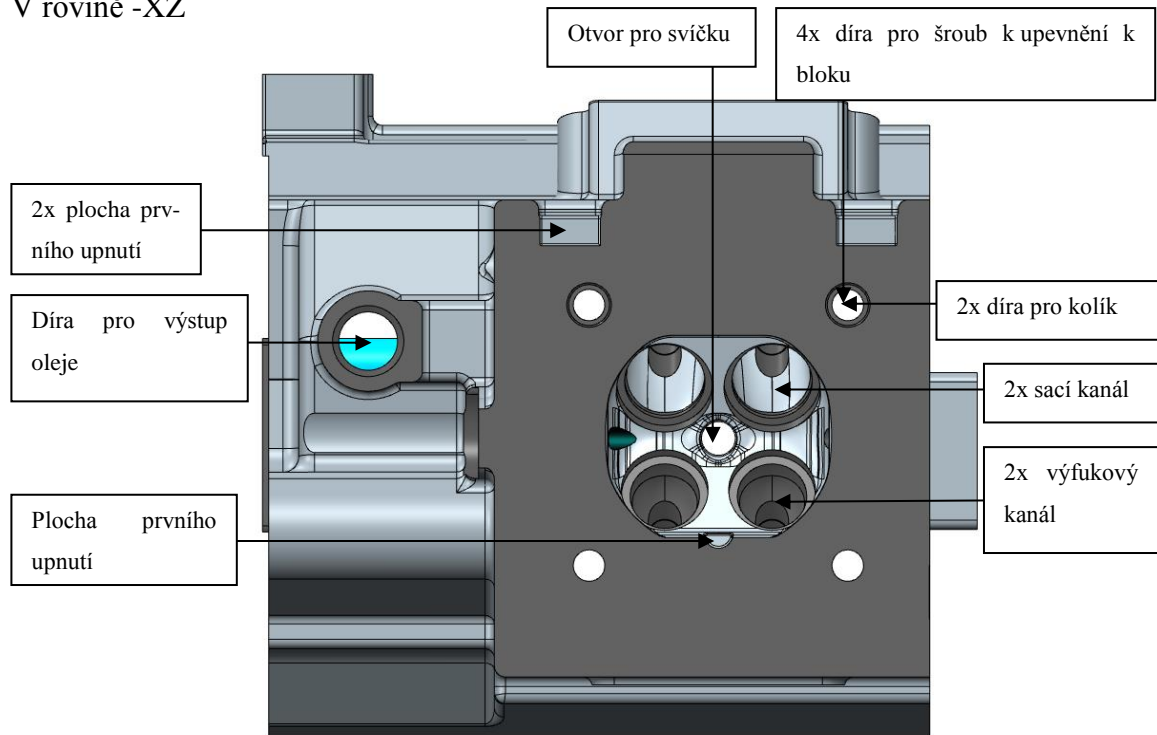
V rovině -XZ



Obrázek 11: Pohled zezadu

3.2.5 Pohled zespodu

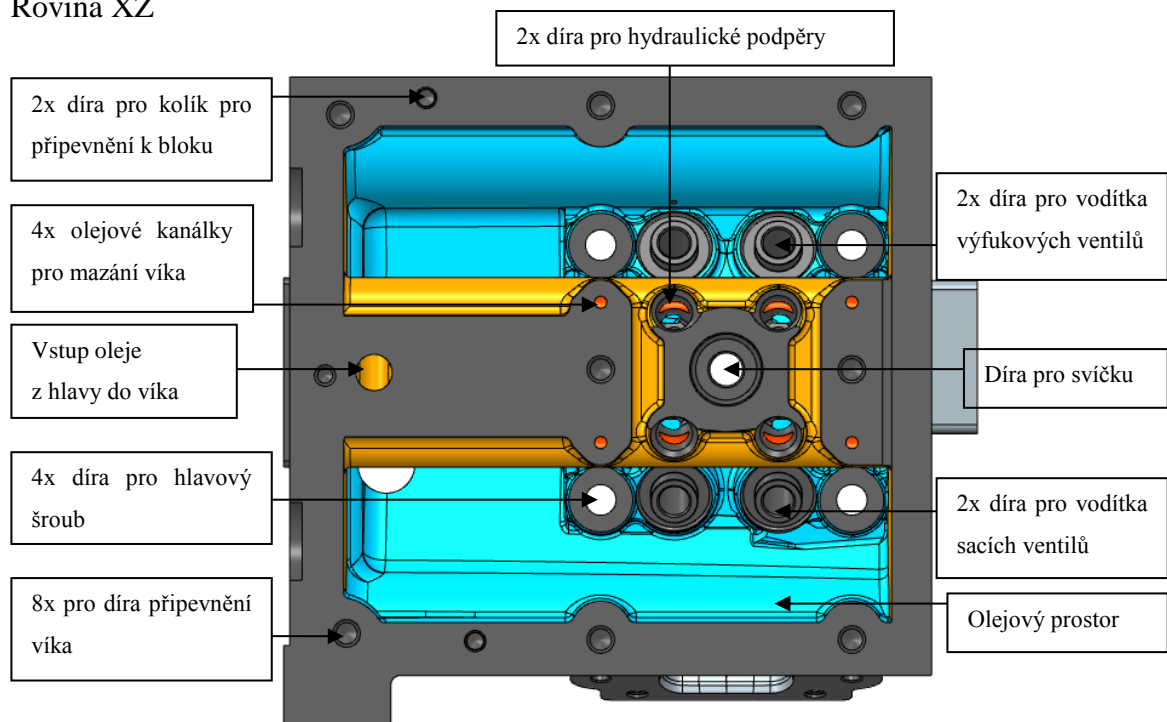
V rovině -XZ



Obrázek 12: Pohled zespodu

3.2.6 Pohled seshora

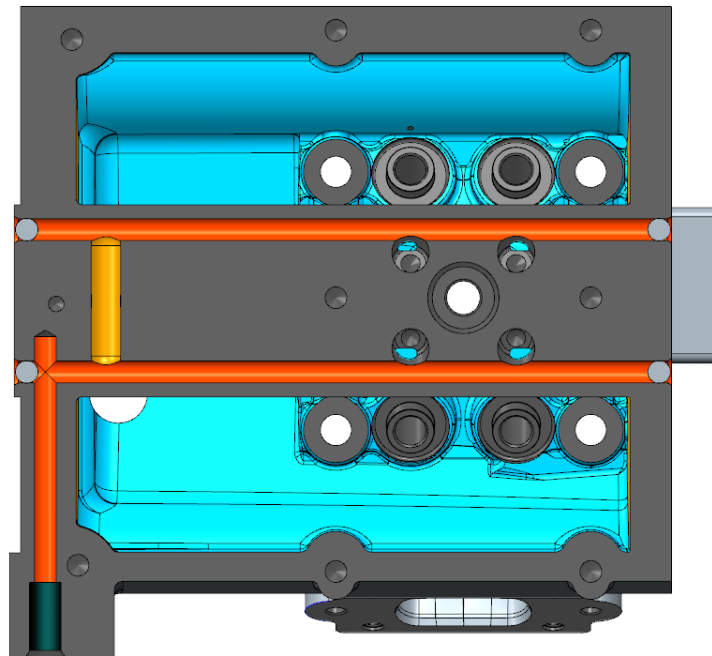
Rovina XZ



Obrázek 13: Pohled seshora

3.2.7 Přívod tlakového oleje

Tlakový olej je přiváděn ze strany sacího kanálu, vstupuje do obrobeného olejového kanálku, kde vymezuje vůli sacích hydraulických podpěr, rozvádí se do předlité díry a do druhého obrobeného kanálku, kde vymezuje vůli výfukových hydraulických podpěr. Předlitou dírou vede olej do víka hlavy válců, rozstříkáním promazává vačkové hřídele a po stěnách stéká do olejového prostoru hlavy válců, kde vytéká již zmíněným nejnižším bodem. Na obou koncích obrobených olejových kanálků jsou nalisovány kuličky, které slouží jako utěsnění.

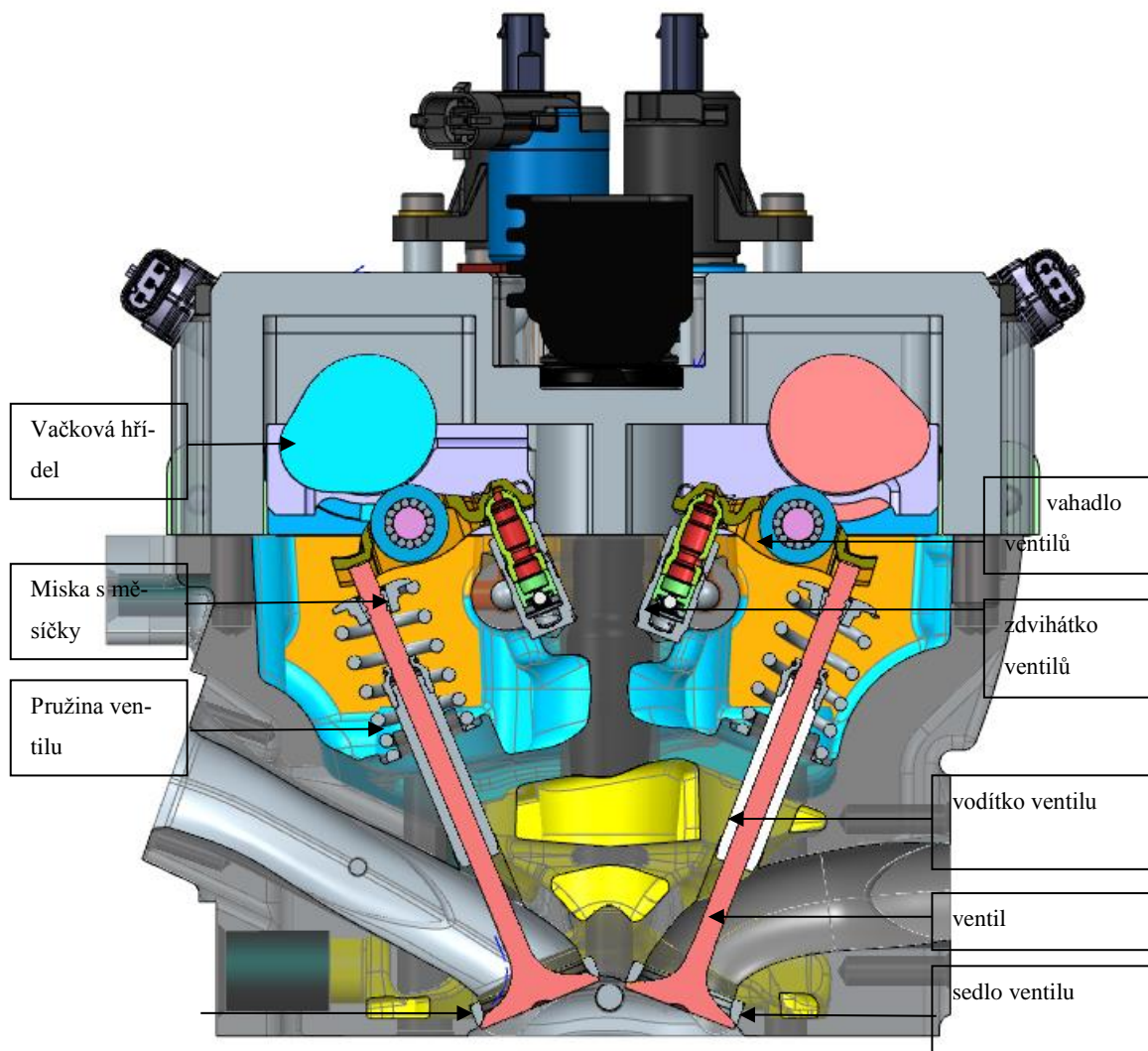


Obrázek 14: Přívod tlakového oleje

4 PŘÍSLUŠENSTVÍ HLAVY VÁLCŮ

4.1 Sériové příslušenství hlavy válců

Nově zkonstruovaná hlava motoru Škoda je připravena stejně jako sériová pro rozvod DOHC. U tohoto rozvodu je použito dvou vačkových hřídelů, které se nachází ve víku hlavy válců, vačkové hřídele ovládají ventily pomocí vahadel. Vahadla přenášejí silové účinky z vačky na ventil. Ventily slouží k otevírání a uzavírání spalovacího prostoru, a aby správně těsnily spalovací prostor, dosedávají do sedel. Pružina přitlačuje ventily do sedel kvůli těsnosti spalovacího prostoru. Vodítka ventilů mají lepší kluzné vlastnosti než samotná hlava válců a také správně vedou ventil. Hydraulická zdvihátka vymezují vůle ventilů. Regulace ventilové vůle je díky tlaku oleje v mazacím systému motoru. [4]



Obrázek 15: Na obrázku je vidět sestava hlavy válců s komponenty

4.2 Snímače v hlavě válců

Data získaná z piezoelektrických snímačů hrají hlavní roli ve vývoji spalovacích motorů. Snímače tlaku, které jsou umístěny v kanálech a spalovacím prostoru, fungují na piezoelektrickém jevu, což je schopnost krystalu generovat elektrické napětí při jeho deformování. [5]

4.2.1 Snímače v sacím kanále

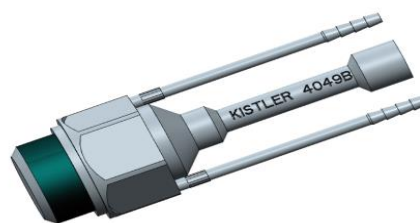
Pro snímání tlaku v sacím kanálu jsou použity dva piezorezistivní snímače Kistler 4005B. Tyto snímače jsou umístěny naproti sobě.



Obrázek 16: Kistler 4005B

4.2.2 Snímače ve výfukovém kanále

Snímač Kistler 4049B slouží ke snímání tlaku ve výfukovém kanále. Tento vodou chlazený senzor odolává vyšším teplotám, které nastávají ve výfukovém kanále.



Obrázek 17: Kistler 4049B

4.2.3 Snímače ve spalovacím prostoru

Pro snímání okamžitého tlaku ve střechovitém spalovacím prostoru slouží dva různé snímače, které jsou umístěny naproti sobě. První z nich je AVL GU22C, tím druhým je snímač AVL GC24D, ten je vodou chlazený. Díky různosti snímačů lze porovnat naměřené tlaky.



Obrázek 18: AVL GU22C



Obrázek 19: AVL GC24D

5 VÝPOČTY HLAVY VÁLCŮ, OBECNÝ ÚVOD

V této diplomové práci se provádí výpočet CFD simulace vodního prostoru a tepelné namáhání hlavy válců. Následně bude vidět, jak se tyto dva výpočty navzájem ovlivňují, nastavují se společné okrajové podmínky a počítají se dohromady, dávají tedy jednu společnou úlohu. Proto tyto dvě kapitoly byly dále spojeny do jedné.

5.1 Počítačová mechanika tekutin

Computational Fluid Dynamics (CFD) neboli počítačová dynamika tekutin se zabývá prouděním tekutin, přenosem tepla a hmoty, průběhem chemických reakcí a dalšími souvisejícími jevy v definovaném prostředí. Používá se zejména z důvodů finančních, protože simulace počítačového modelu proudění je mnohem méně nákladná než měření, která probíhají v aerodynamických tunelech. Provádění simulace samozřejmě záleží na typu modelu, je potřeba výkonných počítačových stanic kvůli opakované manipulaci s tisíci, někdy i miliony čísel.

Fyzikální model toku tekutiny je dán třemi fundamentálními zákony, které jsou formulovány matematickými rovnicemi, obvykle parciálního diferenciálního typu. Těmi zákony jsou:

- zákon zachování hmoty (rovnice kontinuity)
- zákon zachování energie (rovnice energie)
- zákon zachování hybnosti (pohybové rovnice)

Označení Navier–Stokesových rovnic jako pohybových není zcela ucelené. V anglosaských materiálech se většinou uvádí, že Navier-Stokesovy rovnice udávají všechny tři výše uvedené zákony zachování, jinak tomu nebude ani v této diplomové práci.

Dále potom pro popis fyzikálního modelu se vychází z konstitučních vztahů, jako je například stavová rovnice ideálního plynu, rovnice vnitřní energie a rovnice pro rychlost zvuku pro ideální plyn.

Matematický model je soubor rovnic popisující pohyb tekutiny jak laminární, tak turbulentní, vycházející ze zákonů zachování, které tu byly zmíněny.

Pro popis laminárního proudění postačí pohybové rovnice a konstituční vztahy, vznikne pak uzavřená soustava rovnic. Turbulentní proudění nelze řešit analyticky, je potřeba ho řešit

numerickým způsobem a dnešní numerická matematika nabízí několik způsobů řešení turbulentního proudění. Turbulentní proudění je charakterizováno proměnnými složkami (rychlost, tlak, teplota a hustota), které obsahují střední hodnotu veličin a flukтуаční složku veličiny. Navier-Stokesovy rovnice pak tvoří neuzavřenou soustavu rovnic. Způsoby uzavření jsou následující:

Přímý přístup - Direct Numerical Simulation (DNS)

Metoda, která řeší přímo Navier-Stokesovy rovnice. Pro tuto metodu se používá velice jemná síť a malý časový krok. V inženýrské praxi je téměř nepoužitelná pro svoji výpočetní náročnost. Používá se pro jednoduchou geometrii a malé Reynoldsovo číslo. Na druhou stranu výsledky této metody jsou považovány za ekvivalentní výsledky experimentů.

Statistický přístup - Řešení středovaných Navier-Stokesových rovnic (RANS)

Jedná se o řešení Navier-Stokesových rovnic, kdy jsou tyto rovnice středovány, tím dochází k rozkladu počítaných veličin na dvě složky, a to na střední hodnotu a flukтуаční složku. Takto středované Navier-Stokesovy rovnice nejsou uzavřené a pro jejich uzavření je potřeba v tomto počítaném případě doplnit model turbulence. Pro tuto konkrétní úlohu je zvolen k-epsilon model, který společně s modelem turbulence k-omega patří mezi nejpožívanější modely v inženýrské výpočetní praxi. [6], [7]

5.2 Úvod do tepelného namáhání

V minulosti byla optimalizace hlav válců a ostatních komplikovanějších součástí motorů založena na vybudování série prototypů a provádění různých měření, testů a experimentů. Tento proces vývoje byl velice časově náročný a bylo komplikované postavit fyzické prototypy, které byly ještě ke všemu nákladné. Budování prototypů sice tedy přineslo zlepšení konstrukce, ale byly získávány pouze obecné informace ze zkoušek. Po čase byla zavedena konečně prvková metoda (FEA - Finite element method) a stala se v raných fázích návrhu metodikou, která šetří čas i peníze. Tato konečně prvková analýza pomáhá inženýrům nalézt nejlepší způsob odstranění tepla z motoru.

Hlava válců je jednou z nejsložitějších součástí spalovacího motoru. Ve spalovacím prostoru hlavy válců se mohou teploty pohybovat kolem 2500 Kelvinů a spalovací tlaky kolem 15 Megapascalů. [8]

Teplotní namáhání hlavy válců je způsobeno rozdílem teplot jednotlivých komponent. Dále potom závisí na rychlosti a způsobu, jakým se teplo přenáší na komponenty, na jejich tvarech, tepelné vodivosti a jistě velký vliv má také chlazení chladicí kapalinou.

Zlepšit tepelné namáhání hlavy válců, neboli snížit teploty, lze například úpravou vodního prostoru, nebo zvýšením hmotnostního průtoku na vstupu pro vyšší průtok chladicí kapaliny. Dále se nabízí použití lepšího materiálu. Také výsledné teploty závisí na druhu spalovaného paliva, zatížení motoru. [9]

5.2.1 Šíření tepla

Fyzikální podstata dějů určuje způsoby šíření tepla. Jsou tři druhy šíření tepla.

- **Šíření tepla vedením (kondukce):** probíhá jako šíření mechanické formy energie tak, že z míst s vyšší teplotou se kinetická energie neuspořádaných tepelných pohybů ze stavebních částic přenáší do míst s nižší teplotou. Vyskytuje se ve spojitém látkovém prostředí. V tekutinách se nachází také, jenomže nehraje takovou roli jako makroskopické šíření tepla prouděním. Přenos tepla vedením vyjadřuje Fourierův zákon:

$$\mathbf{q} = -\lambda * \text{grad}(T) \quad (5.1)$$

- **Přenos tepla prouděním (konvekce):** jedná se o přenos tepelné energie pohybem tekutiny. Teplejší makroskopické částice tekutiny přecházejí do míst s nižší teplotou. Vyskytuje se například ve výměnících, při chlazení lopatek turbíny, u chlazení hlavy válců. Přenos tepla prouděním vyjadřuje Newtonův ochlazovací zákon:

$$q = \alpha * (T_w - T_o) \quad (5.2)$$

- **Přenos tepla radiací:** je šíření elektromagnetického záření, u něhož tuhé těleso zahřáté na termodynamickou teplotu přemění část své energie na energii elektromagnetických vln. Například teplo ze Slunce na Zemi. Zářivost dokonale černého tělesa I určíme ze Stefan-Boltzmannova zákona:

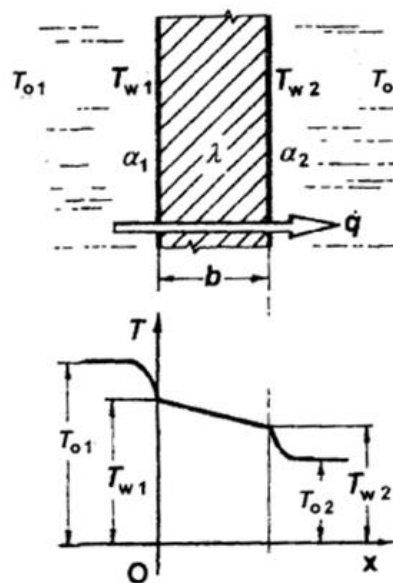
$$I = \sigma * T^4 \quad (5.3)$$

Prostup tepla

Při řešení problému v této diplomové práci dochází ke sdruženému přenosu tepla. Jedná se o výměnu tepelné energie na rozhraní mezi tekutinou (vodní prostor) a pevným tělesem (hlava válců).

Jsou jimi přenos tepla vedením a přenos tepla prouděním. Jejich kombinace se nazývá prostup tepla. Na obrázku je možno vidět jednorozměrný prostup tepla.

Šíření tepla vedením probíhá v pevných součástech hlavy válců a v malé míře ve vodním prostoru. Šíření tepla prouděním nastává ve vodním prostoru, zároveň je ovlivňováno turbulentním prouděním, ke kterému dochází právě ve vodním prostoru.



Obrázek 20: Prostup tepla

Hustota tepelného toku se v tomto případě vypočítá z následující rovnice:

$$q = \frac{(T_{01} - T_{02})}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{j=1}^n \frac{b_j}{\lambda_j} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (5.4)$$

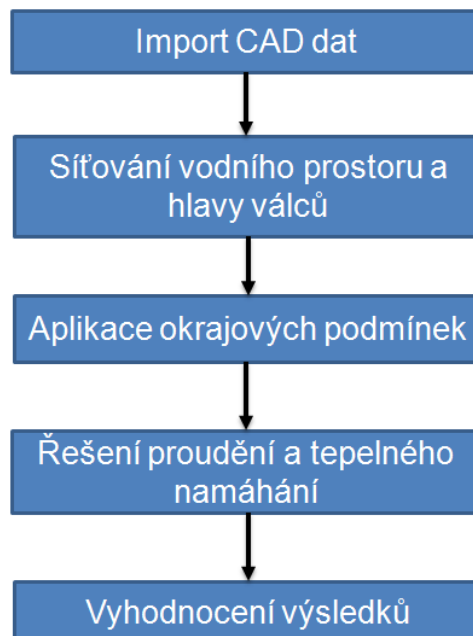
[10], [11], [12]

6 VÝPOČTY HLAVY VÁLCŮ, POSTUP

V této diplomové práci se objeví tři verze vodního prostoru, ta nejvhodnější bude vybrána a použije se ve výpočtu tepelného namáhání hlavy válců. Při výpočtu tepelného namáhání budou zvažovány dvě varianty. První je varianta pro atmosférické plnění, druhá pro motor s přeplňováním. Motivací výpočtu přeplňované verze je to, že do budoucna by chtěli vědecko-techničtí pracovníci z ČVUT přeplňovat motor kvůli dalšímu výzkumu.

6.1 Struktura výpočtu

Struktura výpočtu je popsána v následujících krocích. Nejprve se importuje CAD model sestavy hlavy válců s vodním prostorem. Dále se nastaví parametry sítě a provede se síťování pro celou sestavu hlavy válců. Nejprve se zavedou průtokové okrajové podmínky pro proudící tekutinu. Na vstupu se nastaví hmotnostní průtok a teplota, na výstupu tlak a teplota. Dále se zavedou okrajové podmínky pro teplotní model, součinitel přestupu tepla a okolní teploty. Následuje řešení proudění a tepelného namáhání jako společného výpočtu. Tento přístup tedy dopočítává součinitel přestupu tepla chladicí kapaliny z proudění a tepelného namáhání hlavy válce.



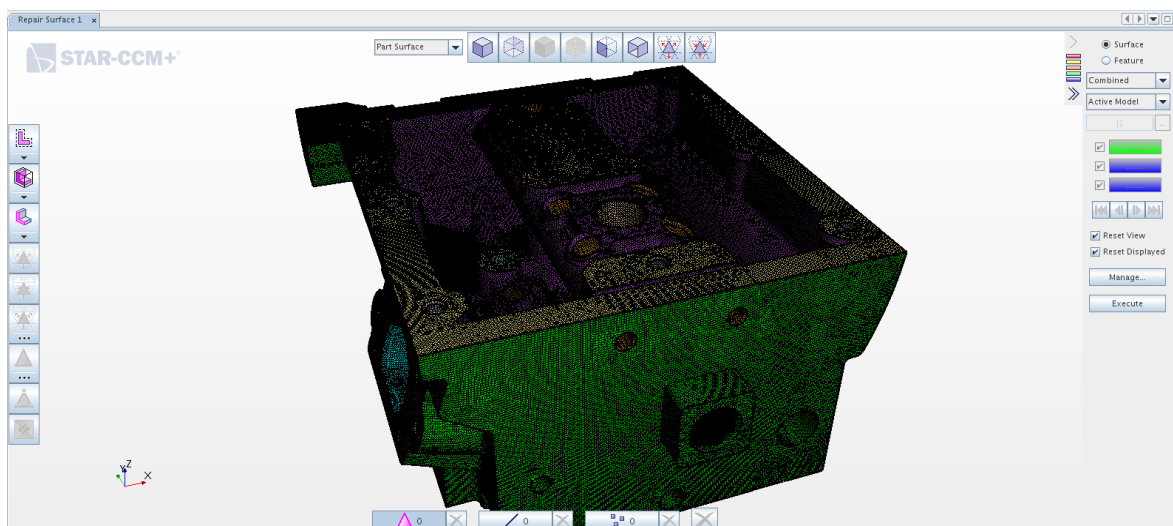
Obrázek 21: Schéma výpočtu

6.2 Úprava geometrie a nastavení sítě

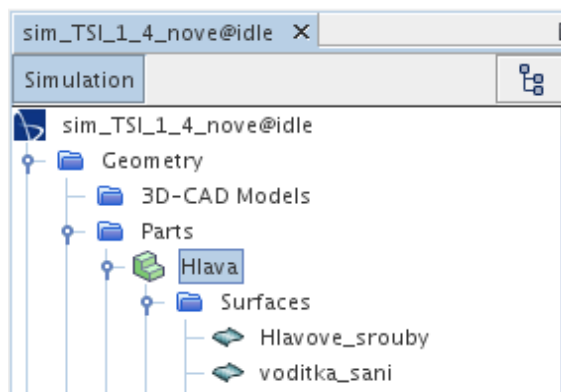
Model hlavy válců společně s modelem vodního prostoru, který je součástí odlitku, byly vytvořeny v programu Creo Parametric 2 již v předchozích bodech zadání. Společně tedy tvoří jednu sestavu. Pro tvorbu sítě bylo potřeba tuto sestavu převést do souboru s příponou .STEP, universálního souboru mezi CAD modely. Poté již bylo možno sestavu otevřít v programu ANSA, kde se vygenerovala povrchová síť. Povrchová síť (surface mesh) slouží k přesnému popisu hranic objemu tělesa. Následovalo uložení sestavy s příponou .stl a její otevření v programu Star CCM+, ve kterém se před generováním objemové sítě upravovala geometrie.

- Nastavení ve Star CCM+

Pro úpravu byla použita funkce *Repair Surface*. Touto funkcí se model rozdělil na požadované plochy. Důvody rozdělení byly přiřazení vlastností dané ploše, nebo nastavení kontaktu plochy s jinou plochou. Struktura rozdělení vypadá přibližně následovně: v záložce *Geometry* je podzáložka *Parts* (součásti), jsou jednotlivé součásti modelu sestavy hlavy válců: hlava, vodní prostor, ventily, sedla, vodítka atd., každý z těchto *Parts* má podzáložku *Surface* (plochy), ve kterých jsou rozděleny na jednotlivé plochy. Hlava má v položce *Surface* například plochy děr pro hlavové šrouby, sacího kanálu, výfukového kanálu.



Obrázek 22: Rozhraní Repairsurface v programu Star CCM+



Obrázek 23: Zobrazení podzáložky Surface ve stromě

Vlastnosti objemové sítě:

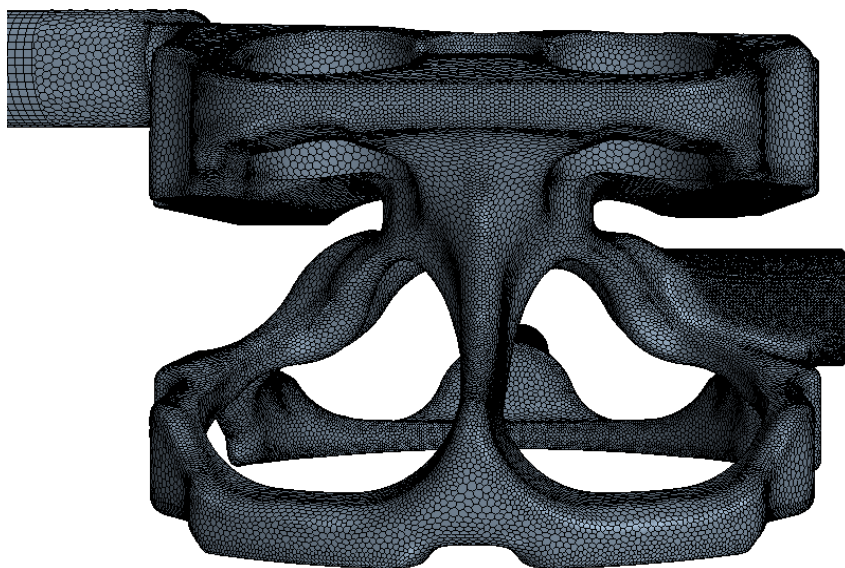
- **Surfacere mesher:** (povrchová síť) vylepšuje počáteční povrch, aby poskytoval kvalitní diskrétní síť. Funkce vhodná pro CFD.
- **Polyhedral mesher:** vytváří objemovou síť, která je složena z mnohostěnných prostorových elementů, je vhodná pro automatické generované sítě.
- **Prism layer mesher:** přidává hranolové elementy vedle hranic stěn a pomáhá řešit proudění v mezní vrstvě.
- **Extruder:** zlepšují přesnost průtoku u modelů, jako jsou potrubí, jedná posunutí okrajové podmínky.

[13]

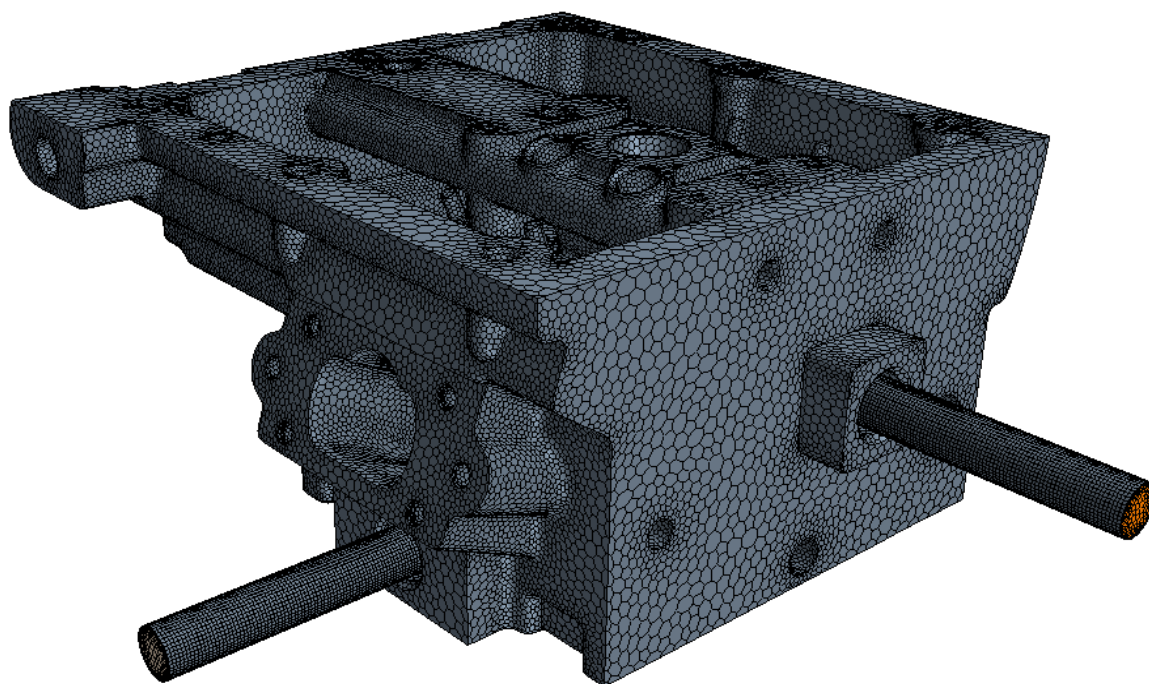
Počet elementů sestavy je 1 656 699, základní velikost 5 mm. U vodního prostoru byla generována jemnější síť než u solidu (hlavy válců).

Tabulka 3: Shrnutí vlastností sítě

Vlastnosti sítě
Extruder
Polyhedral Mesher
Prism Layer Mesher
Surface Remesher



Obrázek 24: Síť vodního prostoru



Obrázek 25: Síť sestavy hlavy válců

6.3 Fyzikální podmínky

- **Materiálové a fyzikální vlastnosti**

U pevných těles je definována hustota, měrná tepelná kapacita a součinitel tepelné vodivosti. U chladicí kapaliny je nastavena navíc teplota varu, dynamická viskozita a Prandtlovo číslo. Součinitel tepelné vodivosti u chladicí kapaliny lze téměř zanedbat, místo šíření tepla vedením totiž více dominuje šíření tepla prouděním.

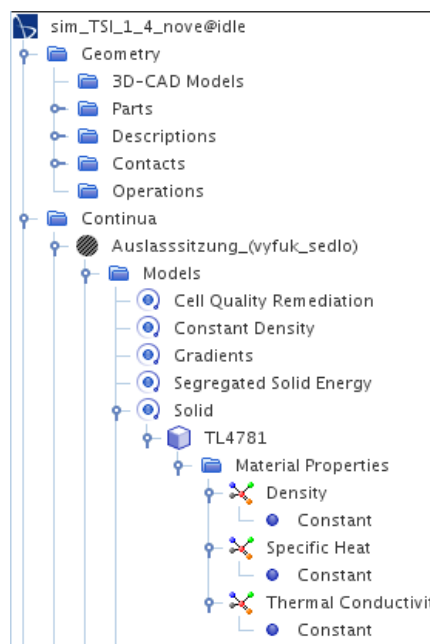
V dalším případě je třeba zmínit použitý materiál nové hlavy válců pro motor Škoda, který bude ze slitiny hliníku AlSi10Mg. Je používán v sériových TSI motorech koncernu, který má lepší vlastnosti než materiál z verze MPI. Jeho výhodou je například lepší tepelná vodivost, nevýhodou může být obtížnější obrobitelnost.

Teplota tání materiálu AlSi10Mg je při 660°C, při které dochází ke změně pevné krystalické mřížky na kapalnou. Tato teplota je samozřejmě absolutně nepřijatelná.

[14], [15]

- Nastavení ve Star CCM+

V záložce *Continua* (Kontinuum) jsou jednotlivé součásti hlavy válců, jako sací a výfuková sedla, kanály a vodítka, ale i chladicí kapalina. Každá z těchto součástí má nastavený fyzikální model v podzáložce *Models*. V podzáložkách *Solid* a *Liquid* se konkrétně nastavují materiálové vlastnosti.



Obrázek 26: Zobrazení položky *Materiál properties* ve stromě

Tabulka 4: Fyzikální parametry chladicí kapaliny

Tekutina	Teplota varu [K]	Hustota [Kg.m ⁻³]	Dynamická viskozita [Pa.s]	Měrná tepelná kapacita [J.Kg ⁻¹ .K ⁻¹]	Tepelná vodivost [W. m ⁻¹ . K ⁻¹]	Prandtlovo číslo
Voda	400	1018	8.0422*10 ⁻⁴	3650	0.443	0.9

Tabulka 5: Fyzikální parametry jednotlivých součástí sestavy hlavy válců

Součást	Hustota [Kg.m ⁻³]	Měrná tepelná kapacita [J.Kg ⁻¹ .K ⁻¹]	Tepelná vodivost [W. m ⁻¹ . K ⁻¹]
Výfukové sedlo	8055	480	35
Sací sedlo	8055	480	35
Vodítko výfuk. ventilu	8055	480	35
Vodítko sacího ventilu	8530	375	120
Výfukové ventily	8055	500	14.5
Sací ventily	8055	500	21
Hlava	2750	880	120
Snímače výfuk. kanál	2702	903	237
Snímače sací kanál	7800	460	25
Snímače spal. prostor	7500	460	21

- **Nastavení fyzikálních modelů**

Základní popis nastavovaných parametrů ve fyzikálních modelech. Tento popis je zcela orientační, není třeba nějak dále rozvádět, jelikož to není cílem této diplomové práce.

Three Dimensional (trojrozměrné proudění): Pracuje s prostorovou 3D sítí v celém objemu tělesa.

Turbulent (turbulentní proudění): Z důvodu geometrické složitosti a časté změny průřezu vodních kanálů se jedná o turbulentní proudění.

Reynolds-Averaged Navier-Stokes: Statistický přístup řešení turbulence popsany již v předešlé kapitole. V programu Star CCM+ je nejvyužívanější.

K-Epsilon Turbulence: Nejpoužívanější model turbulentního proudění. Model má dvě transportní rovnice, které slouží k výpočtu turbulentní vazkosti.

Realizable K-Epsilon Two-Layer: Kombinace K-Epsilon modelu a dvouvrstvé mezní vrstvy.

Two-LayerAll y+ Wall Treatment: Model pro výpočet mezní vrstvy.

Segregated flow (oddělený proud): Jedná se o oddělené řešení pohybových rovnic a rovnice pro tlak, díky tomu nedochází k takovému zatížení výpočetní stanice jako v případě sdruženého řešení, kde se řeší rovnice současně.

Segregated Fluid Temperature: Řeší rovnici pro celkovou energii s teplotou jako proměnnou.

Steady (stacionární): Výpočet ustáleného stavu proudění.

Constant Density: Předpoklad konstantní hustoty. Hustota není závislá na teplotě.

Gravity: Model zohledňující vliv a směr gravitace.

Boiling: Základní model varu.

Gradients: Gradientní metody.

Segregated Solid Energy: Řeší šíření tepla vedením v pevném tělese energetickou rovnicí.

[13]

Tabulka 6: Shrnutí parametrů modelu tekutiny

Boilling
Cell Quality Remediation
ConstantDensity
Exact Wall Distance
Gradients
Gravity
K-Epsilon Turbulence
Realizable K-Epsilon Two-Layer
Reynolds-Averaged Navier-Stokes
Segregated Flow
Segregated Fluid Temperature
Steady
Three Dimensional
Turbulent
Two-Layer All y+ Wall Treatment

Tabulka 7: Shrnutí parametrů modelu pevných látek

Cell Quality Remediation
Constant density
Gradients
Segregated Solid Energy
Steady
Three Dimensional
Solid

6.4 Okrajové podmínky

6.4.1 Okrajové podmínky nepřepřítňované verze

Pro získání okrajových podmínek sériového motoru bylo měření motoru, které probíhalo v zátěžovém stavu při parametrech uvedených v tabulce 4, na měřicím stanovišti uvedeno v soulad s výpočtem v GT-Poweru. Následně byly získány konvektivní okrajové podmínky pro motor 1,6 MPI.

Výpočet konvektivních okrajových podmínek i měření při zátěžovém stavu motoru na měřicím stanovišti byly provedeny vědecko-technickými pracovníky ze Škoda-AUTO.

V této práci byly tyto konvektivní okrajové podmínky převzaty, ale s rozdílem oproti sérii byl přenos tepla mezi hlavou válců a blokem motoru nastaven na adiabatický, jedná se o zjednodušení výpočtu, protože počítat společné tepelné namáhání hlavy válců a bloku motoru by bylo nad rámec této práce. Další změnou je zadání součinitele přestupu tepla a teploty ve výfukovém potrubí jako dvou hodnot pro celý rozměr potrubí, místo mapovaných hodnot oproti sériovým simulacím. Opět mapovat tyto teploty není součástí zadání této práce.

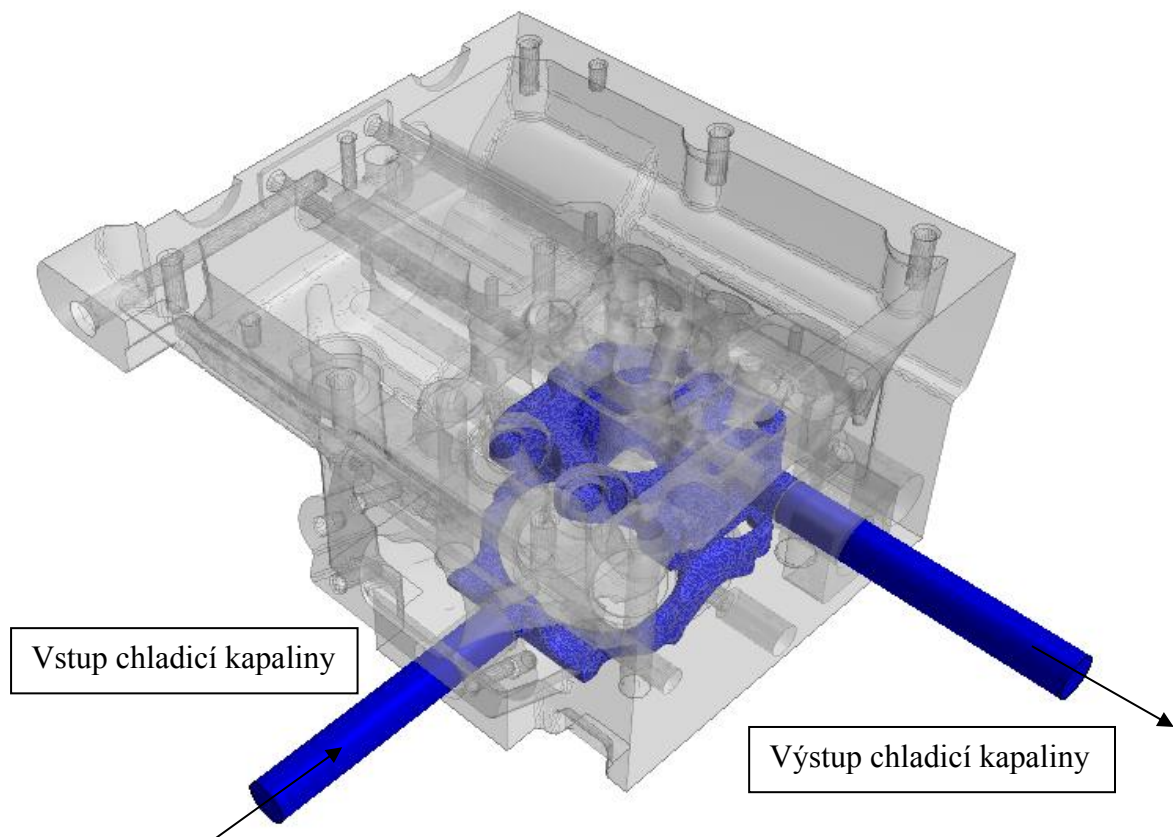
Tabulka 8: Nastavené parametry motoru 1,6 MPI při měření

Nastavený parametr	hodnota
Otáčky	5800 [1/min]
Hmotnostní průtok chladicí kapaliny	134 [l/min]
Výstupní teplota chladicí kapaliny	115 [°C]
Teplota oleje	163 [°C]
Lambda	0,8
Výkon	78 [kW]

Okrajové podmínky lze rozdělit do dvou částí - na konvektivní a průtokové okrajové podmínky.

- Průtokové okrajové podmínky

První část okrajových podmínek tvoří hmotnostní průtok a teplota na vstupu do vodního prostoru, dále potom na výstupu je to tlak a teplota. Hmotnostní průtok je definován jako součin hustoty, rychlosti a průřezu a je nastaven na 20 l/min. Vstupní teplota do vodního prostoru bude 100°C. Tlak na výstupu je okrajová podmínka odolná vůči zpětným rázům, jedná se o tlak statistický/měrný a je zadán na hodnotu 1bar (absolutní tlak jsou 2bary). Teplota na výstupu je nastavena na 100°C, ale neovlivňuje předchozí teplotu chladicí kapaliny. Na obrázku 27. je vidět sestava hlavy válců a vodního prostoru, kde je definován vstup a výstup chladicí kapaliny.



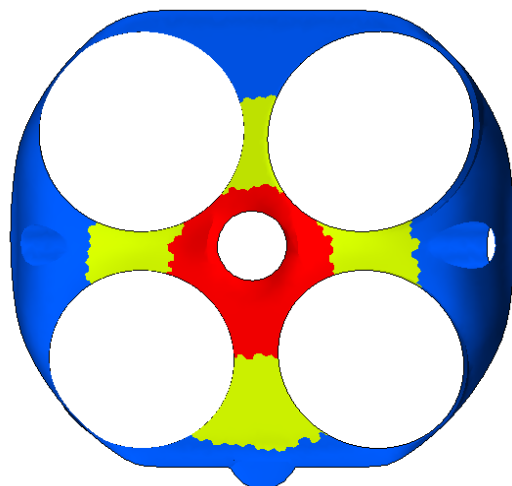
Obrázek 27: Vodní prostor v hlavě válců

Tabulka 9: Nastavení okrajových podmínek

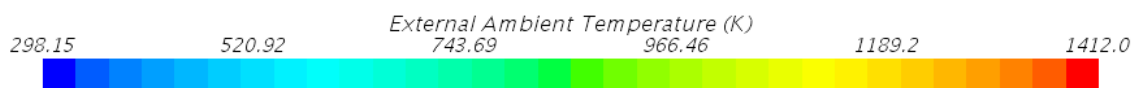
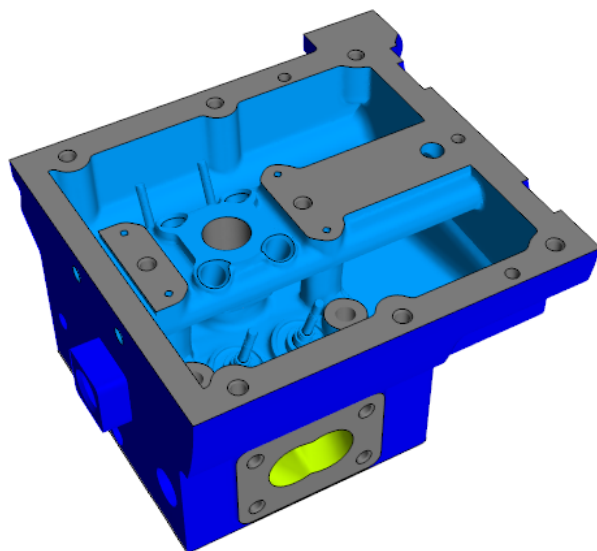
Okrajová podmínka	Fyzikální veličina	Hodnota	Teplota
Vstup	Hmotnostní průtok	0,33 Kg/s	100°C
Výstup	Tlak	100 000Pa (1 bar)	100°C

- Konvektivní okrajové podmínky

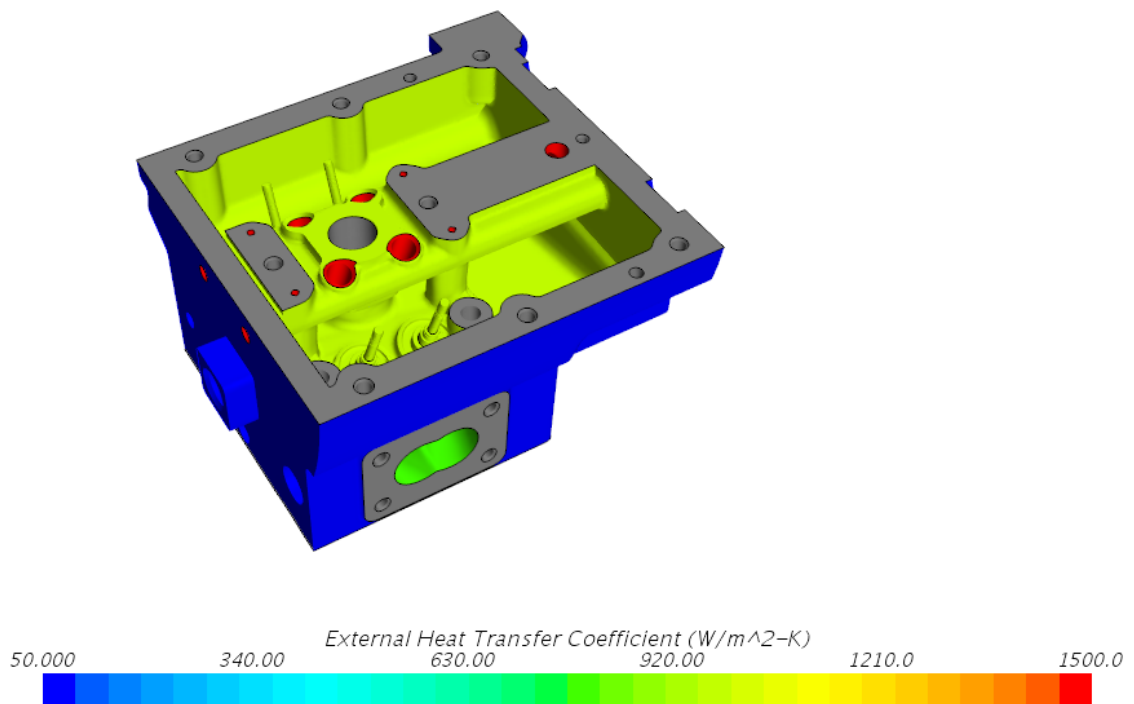
Druhou částí jsou konvektivní okrajové podmínky. Ty jsou tvořeny okolní teplotou a součiniteli přestupu tepla. Ve spalovacím prostoru jsou tyto dvě veličiny mapovány do tří segmentů. Jedná se o to, že s postupným vzdalováním plamene od osy svíčky na stěně spalovacího prostoru klesá teplota i součinitel přestupu tepla.



Obrázek 28: Konvektivní okrajová podmínka spalovacího prostoru



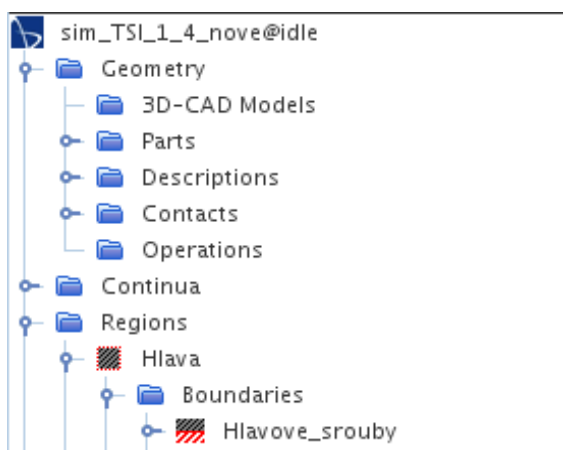
Obrázek 29: Konvektivní okrajové podmínky, okolní teplota



Obrázek 30: Konvektivní okrajové podmínky, součinitel přestupu tepla

- Nastavení ve Star CCM+

Při úpravě ploch v jedné z předešlých kapitol byly jednotlivé *Parts* (součásti) rozděleny na dílčí *Surface* (plochy). V této kapitole se *Parts* převedly do záložky *Regions* (oblasti) pomocí funkce *Assign Parts to Regions*. S tímto krokem vytvořily i v záložce *Regions* podzáložky *Boundaries* (hranice), ve kterých bylo možno definovat konvektivní okrajové podmínky. Například tedy v záložce *Regions* v položce *Hlava* - v podzáložce *Boundaries* je plocha *výfukový kanál*, kde je nastaven konvektivní přestup tepla, součinitel přestupu tepla a okolní teplota (teplota ve výfukovém potrubí). Zároveň v podzáložce *Boundaries* se definovaly průtokové okrajové podmínky, jako jsou vstup, výstup kapaliny. Například v záložce *Regions* v položce *Voda* - v podzáložce *IN_voda* se definoval hmotnostní průtok a teplota chladicí kapaliny na vstupu do vodního prostoru.



Obrázek 31: Zobrazení položky Boundaries ve stromě

Tabulka 10: Nastavené kontakty mezi plochami

Kontakty
Ventily/sedla
Sedla/hlava
Ventily/vodítka
Vodítka/hlava
Voda/hlava

Tabulka 11: Nastavení konvektivních okrajových podmínek jednotlivých ploch

Hlava/Bounderies	Přenos tepla	Vnější teplota [°C]	Součinitel přestupu tepla [Wm ⁻² .K ⁻¹)
Hlavové šrouby	Adiabatický	-	-
Vodítko sání levé	Adiabatický	-	-
Vodítko sání pravé	Adiabatický	-	-
Vodítkový fuk levé	Adiabatický	-	-
Vodítkový fuk pravé	Adiabatický	-	-
Hlava okolí	Konvekce (proudění)	40	50
Sedlo sací pravé	Adiabatický	-	-
Sedlo sací levé	Adiabatický	-	-
Sedlový fukové levé	Adiabatický	-	-
Sedlový fukové pravé	Adiabatický	-	-
Výfukový kanál	Konvekce (proudění)	700	800
Kontakt s víkem	Adiabatický	-	-
Kontakt s blokem	Adiabatický	-	-
Tlakový olej	Konvekce (proudění)	130	1500
Sací kanál	Konvekce (proudění)	25	500
Výfuková příruba	Adiabatický	-	-
Šrouby výfuková příruba	Adiabatický	-	-
Olejový prostor	Konvekce (proudění)	130	1000
Senzor sání levý	Adiabatický	-	-
Senzor sání pravý	Adiabatický	-	-
Senzorový fuk	Adiabatický	-	-
Senzor sp. prostor levý	Adiabatický	-	-
Senzor sp. prostor pravý	Adiabatický	-	-
Spalovací prostor	Konvekce (proudění)	T=T(x,y,z)	HTC=HTC(x,y,z)
Šrouby pro víko	Adiabatický	-	-
Díra pro svíčku	Adiabatický	-	-
Vodní prostor	Adiabatický	-	-

6.4.2 Okrajové podmínky přepřlňované verze

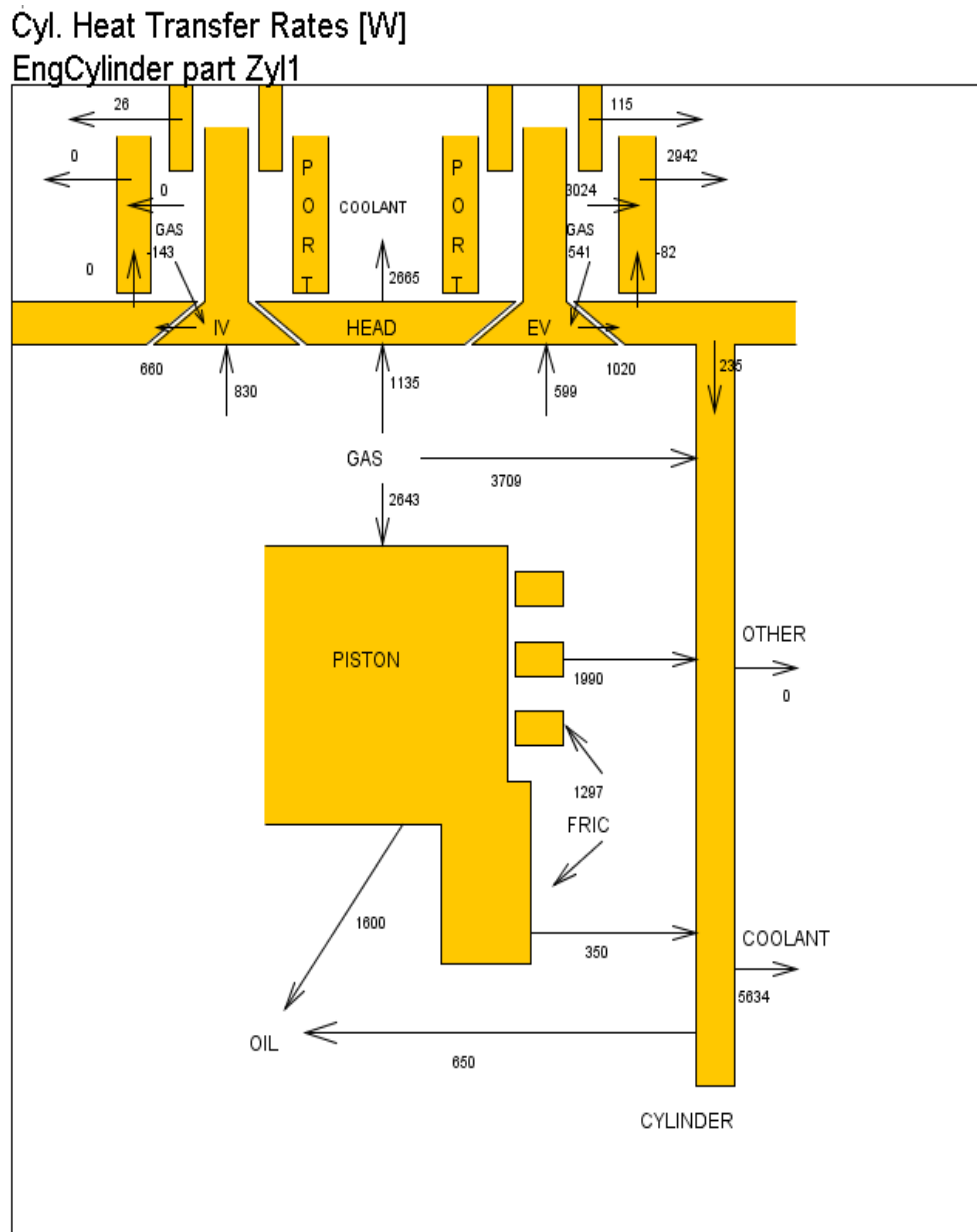
Hodnoty okrajových podmínek nepřepřlňované verze vycházely ze sériového motoru 1.6 MPI. Pro okrajové podmínky přepřlňované verze se vychází z blíže nespecifikovaného motoru SCE, který je nepřepřlňovaný, ale jak bude v následujících kapitolách uvedeno, upraví se na přepřlňovaný.

Výchozí stav pro výpočet obou variant byl při otáčkách 6500 1/min. Při těchto otáčkách bylo u nepřepřlňovaného motoru (SCE) dosaženo maximálního výkonu a maximálního tepelného zatížení. U přepřlňované varianty (BSCE) byly maximální výkon i maximální účinnost motoru při otáčkách 4000 1/min, jenže nejvyšší tepelné zatížení motoru bylo také při otáčkách 6500 1/min. Pro obě varianty byly použity tedy otáčky pro maximální tepelné namáhání motorů, které však nemusí být při nejvyšším výkonu motoru.

Tabulka 12: Nastavené parametry pro výpočet přepřlňované varianty

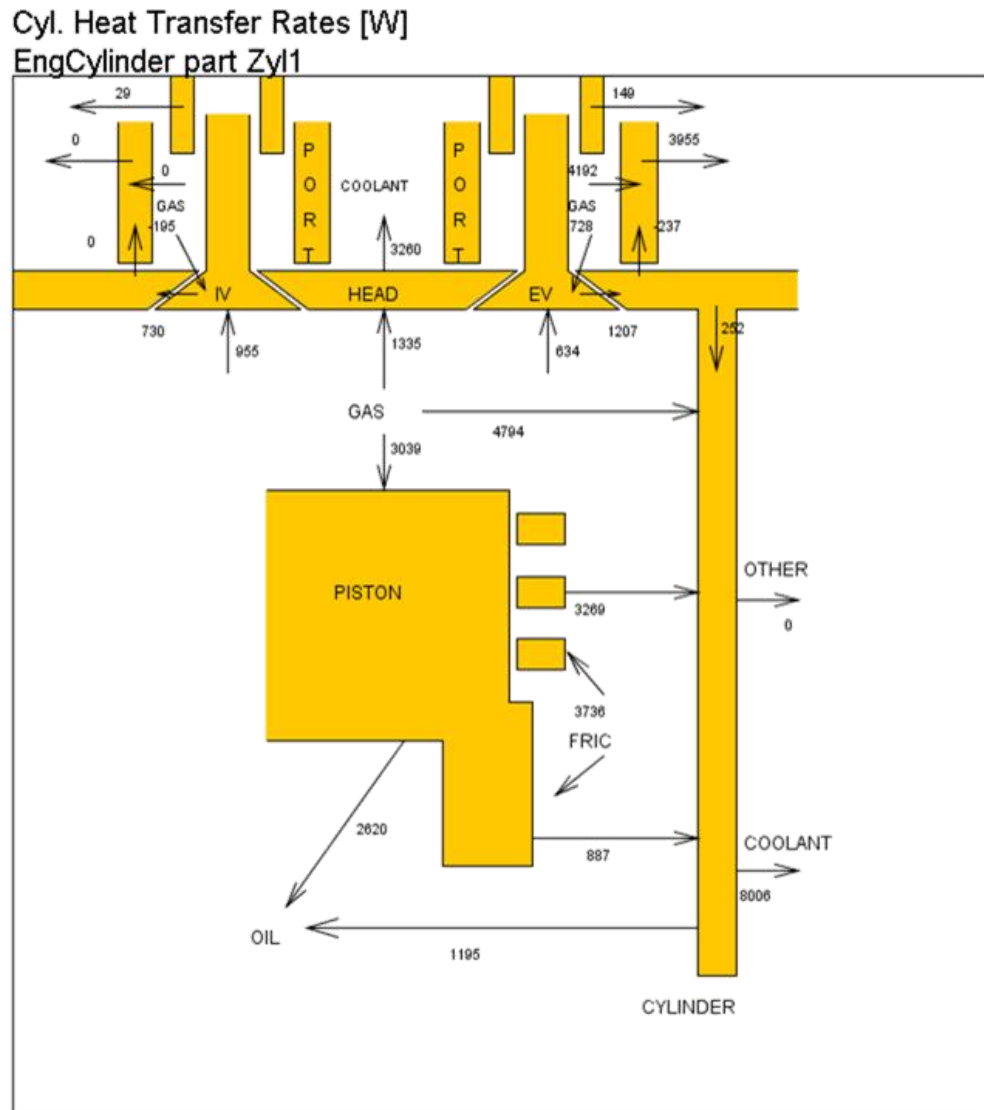
	Otáčky [1/min]	Výkon [kW]	Točivý moment [Nm]	Maximální tlak [bar]
Nepřepřlňovaná verze SCE	6500	23,3	34,2	68
Přepřlňovaná verze BSCE	6500	24,3	35,7	81

Po stanovení výchozího stavu motoru pro výpočet se nadále společnou spoluprací vědecko-technických pracovníků ze ŠKODA AUTO a.s. a ČVUT upravil model v GT-Poweru nepřepřlňovaného motoru (SCE). Nejprve se ze strany ČVUT modifikoval. Následně byly spočítány tepelné toky vědecko-technickými pracovníky z ŠKODA AUTO a.s. Tyto tepelné toky byly spočítány v místech bloku motoru a hlavy válců.



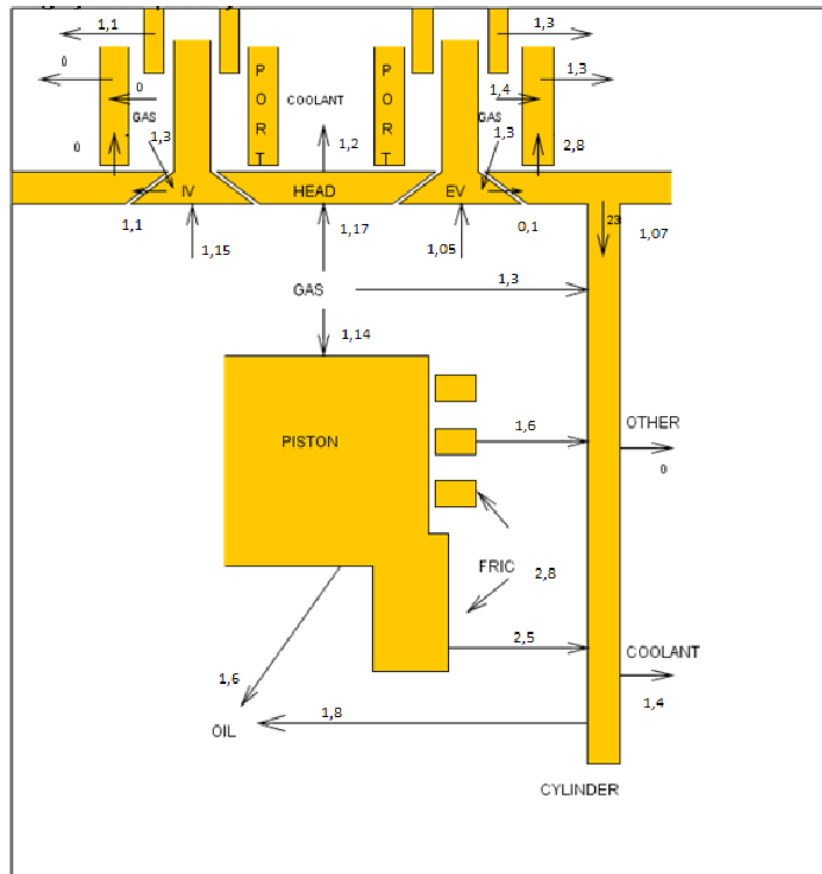
Obrázek 32: Vypočtené tepelné toky pro nepřepřlňovanou variantu SCE [16]

Pro přepřlňovanou verzi se vycházelo již z výše zmíněného modelu nepřepřlňovaného motoru (SCE). Použil se vyšší spalovací tlak. Opět proběhl výpočet tepelných toků v místě bloku motoru a hlavy válců.



Obrázek 33: Vypočtené tepelné toky pro přeplňovanou variantu [16]

K dispozici následně byly dvě varianty modelu jednoválcového motoru, a to nepřepřlňovaná (SCE) a přeplňovaná varianta (BSCE). U obou variant byly známy tepelné toky. Z těchto tepelných toků se udělal podíl. Důvodem bylo srovnání hodnot, zjistit kolikrát má přeplňovaná varianta vyšší hodnotu nežli ta nepřepřlňovaná.



Obrázek 34: Podíl tepelných toků obou variant

Je třeba zmínit, že u okrajových podmínek přepřňované varianty oproti nepřepřňované (1.6 MPI) se mění pouze konvektivní část, a to výhradně ve spalovacím prostoru, sacím a výfukovém kanále.

Nejprve bylo uvažováno, že konvektivní okrajové podmínky nepřepřňované varianty (1,6 MPI) se vynásobí konstantou, která by byla rovna podílu tepelných toků přepřňované (BSCE) a nepřepřňované verze (SCE). Tato konstanta by se následně rozložila mezi okolní teplotu a součinitele přestupu tepla rovnoměrným způsobem tak, že by se její odmocninou vynásobily obě dvě zmíněné veličiny. Tento postup nebyl moc sofistikovaný.

Při bližším posouzení výsledků bylo zjištěno, že podíl součinitele přestupu tepla přepřňované (BSCE) varianty ku nepřepřňované (SCE) vychází ve spalovacím prostoru, sacích a výfukových kanálech přibližně 1,3. Pro výpočet byl ale zvolen podíl 1,4 z důvodu bezpečnosti. Podíl teplot přepřňované verze (BSCE) ku nepřepřňované (SCE) ve zmíněných místech vychází kolem 1,0, kromě výfukového kanálu, kde vychází hodnota 1,1. Teploty těchto

dvou variant jsou téměř stejné. Na základě toho jsou hodnoty vynásobení nepřepřlňované verze (1.6 MPI) uvedeny v tabulce 9.

Tabulka 13: Porovnání konvektivních okrajových podmínek obou verzí, pouze těch, které se měnily

Součást	Spalovací prostor		Výfukový kanál		Sací kanál	
	α	T	α	T	α	T
Nepřepřlňovaný motor (1,6 MPI)	α_{MPI}	T_{MPI}	α_{MPI}	T_{MPI}	α_{MPI}	T_{MPI}
Přepřlňovaný Motor (BSCE)	1,4* α_{MPI}	T_{MPI}	1,4* α_{MPI}	1,1* T_{MPI}	1,4* α_{MPI}	T_{MPI}

7 VÝPOČTY HLAVY VÁLCŮ, VÝSLEDKY

7.1 Výsledky CFD

V této kapitole se porovnávají tři verze vodních prostorů a je vyhodnocena ta nejlepší v zájmu průtoku.

7.1.1 Výsledky verze 1

Simulace vodního prostoru je v této práci předmětem zájmu především z hydraulického hlediska. Je důležité vědět, kde chladicí kapalina ve vodním prostoru proudí, kde cirkuluje a kde stojí. Samozřejmě dále ovlivňuje teploty hlavy válců.

Ze čtyřválcového vodního prostoru byl vytvořen jednoválcový. Další změnou je vstup chladicí kapaliny do vodního prostoru. V sériové verzi byl vstup přes blok motoru. U nového motoru Škoda je vstup přímo do hlavy válců. V sériové verzi byl tedy propojen vodní prostor hlavy s vodním prostorem bloku.

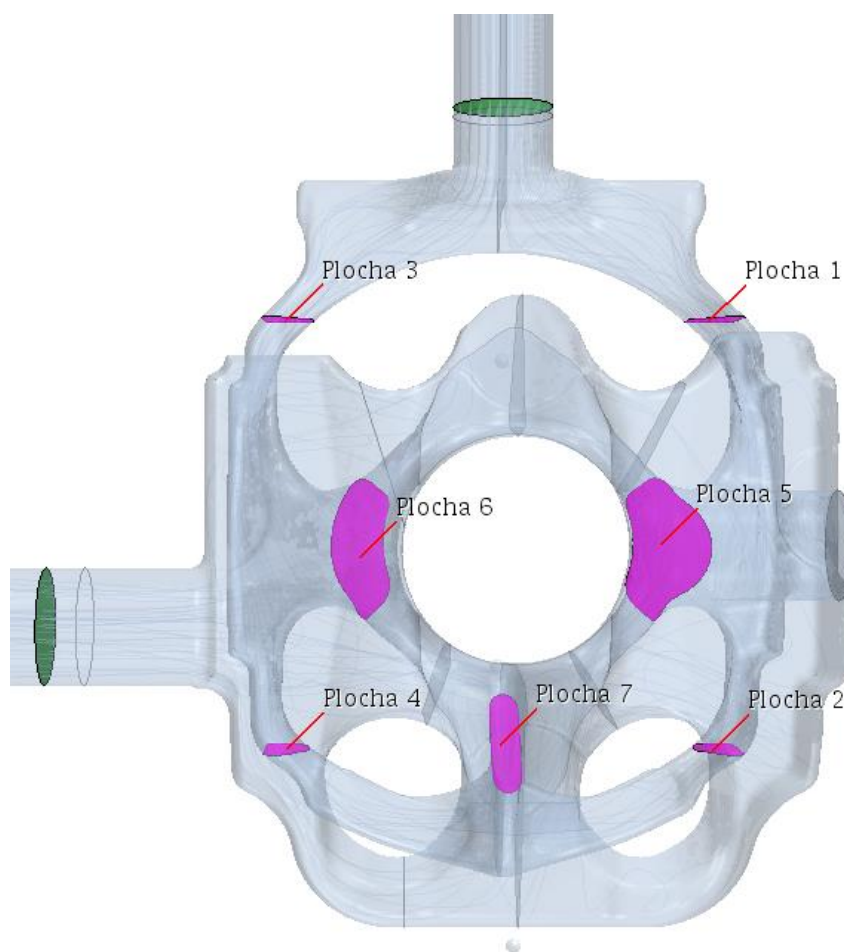
Pro vyhodnocení výsledků byly zvoleny průtočné plochy:

Plocha 1, Plocha 3 : V místech nejvyššího škrcení vodního prostoru, zároveň v těchto místech chladicí kapalina obtéká sedla sacích kanálů.

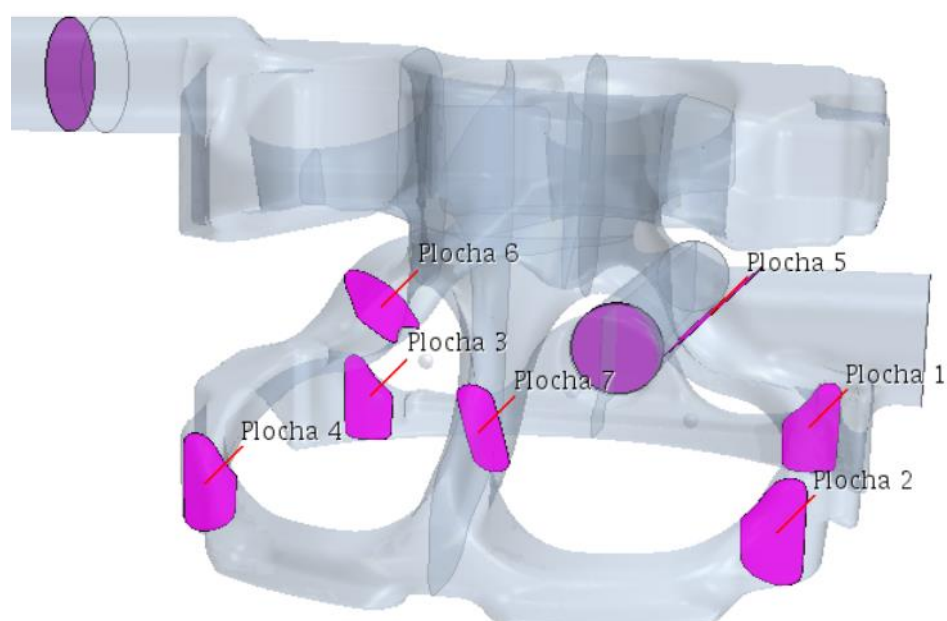
Plocha 4, Plocha 2 : V místech, kde chladicí kapalina proudí kolem výfukových kanálů.

Plocha 5, Plocha 6 : V místech omega žeber, které sloužily k řízení regulace průtoku celou chladicí kapalinou. V Ploše 5 je omega žebro porušené nálitkem.

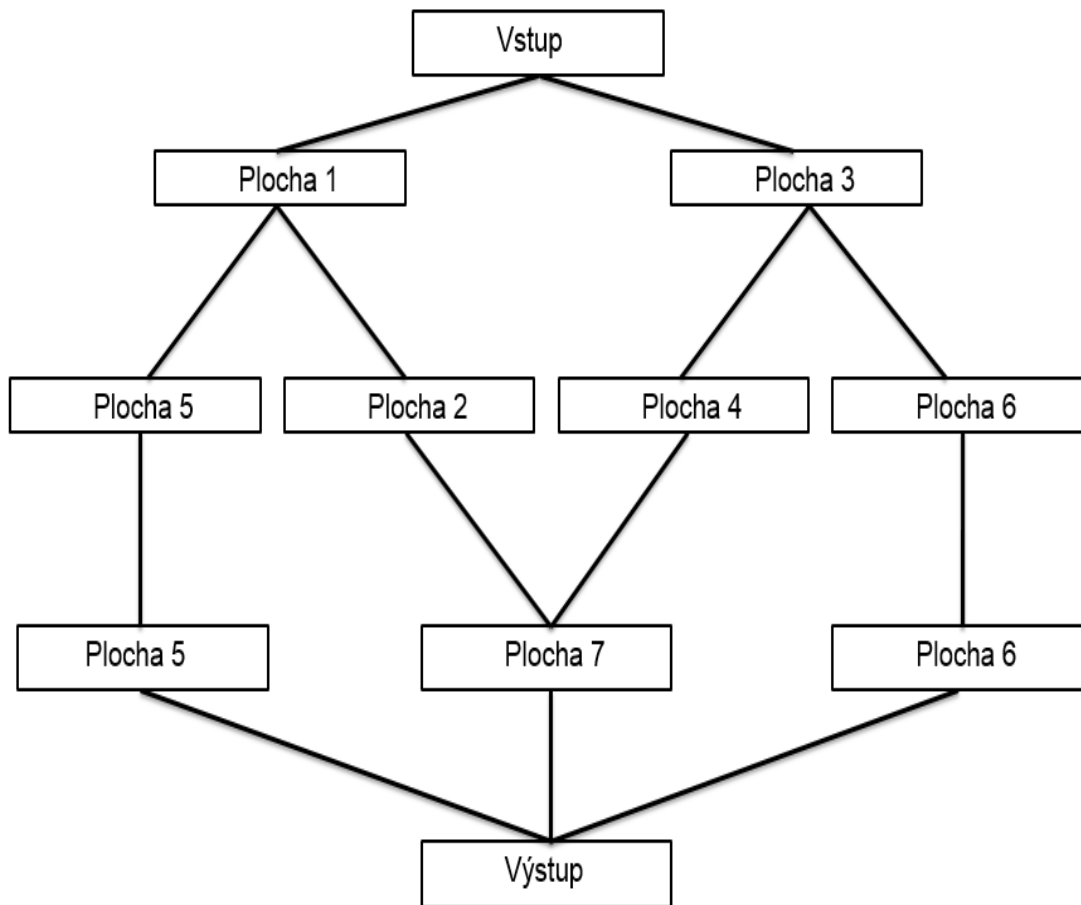
V horních částech vodního prostoru není tolik důležité zkoumat průtoky, protože tato místa jsou vzdálenější od spalovacího prostoru a výfukového kanálu, nejsou tedy tak tepelně namáhaná.



Obrázek 35: Kontrolní plochy vodního prostoru, pohled 1



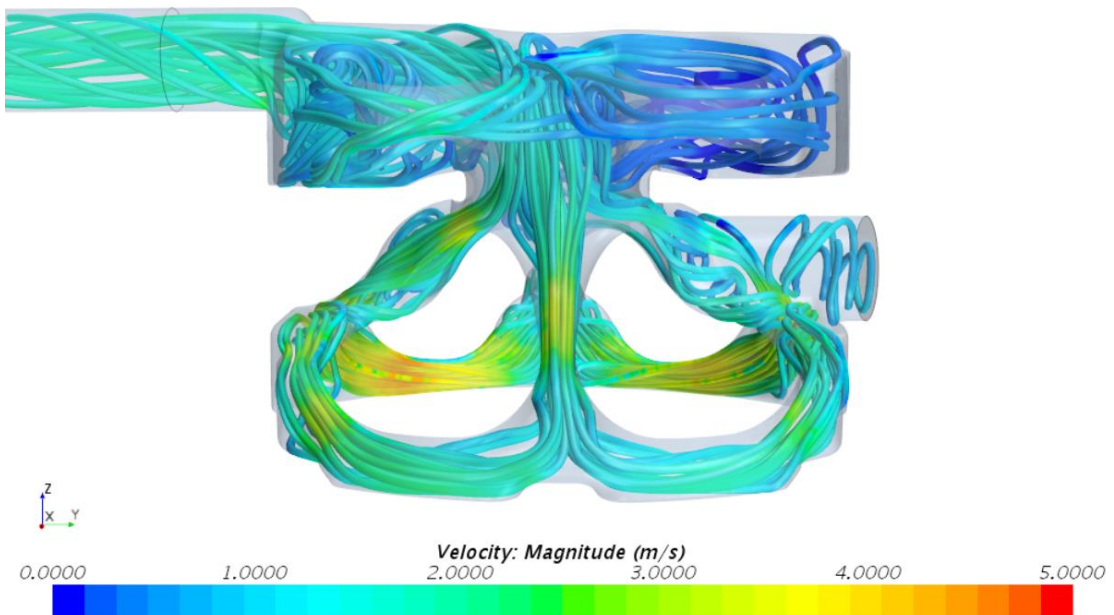
Obrázek 36: Kontrolní plochy vodního prostoru, pohled 2



Obrázek 37: Plochy rozděleny do schématu

Tabulka 14: Verze 1, výsledný průtok

Oblast	Výsledný průtok [Kg/s]
Plocha 1	0,15
Plocha 2	0,06
Plocha 3	0,18
Plocha 4	0,08
Plocha 5	0,09
Plocha 6	0,1
Plocha 7	0,14



Obrázek 38: Verze 1, proudnice

Zhodnocení:

Na obrázku jsou vidět proudnice, jejich jednotlivé barvy udávají velikosti rychlostí. V místě, kde je omega žebro narušeno nálitkem, voda velice nepatrně cirkuluje, nebo stojí.

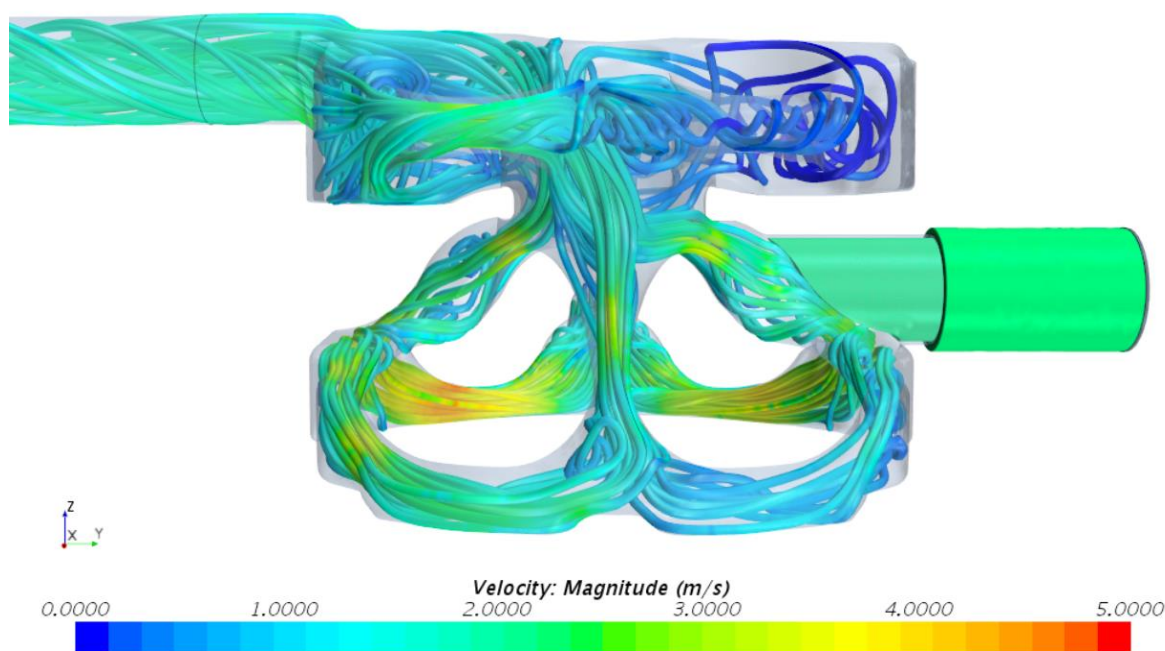
7.1.2 Výsledky verze 2

Verze 2 má nastaveny stejné okrajové a fyzikální podmínky jako verze 1. Rozdíl je pouze v geometrii. Je zde navíc navržena zátka.

Tato zátka by se umístila do místa nálitku. Důvodem je, že v tomto místě je narušeno omega žebro, je proto snaha o zmírnění tohoto narušení. Zátka byla navržena tak, aby co nejlépe kopírovala horní tvar druhého omega žebra, a to v rovině YZ. Cílem tedy bylo, aby obě dvě žebra byla co nejvíce geometricky podobná.

Tabulka 15: Verze 2, výsledný průtok

Oblast	Výsledný průtok [Kg/s]
Plocha 1	0,146
Plocha 2	0,039
Plocha 3	0,183
Plocha 4	0,084
Plocha 5	0,107
Plocha 6	0,098
Plocha 7	0,122



Obrázek 39: Verze 2, proudnice

Zhodnocení:

Na obrázku je vidět, jaký má zátka vliv na proudění chladicí kapaliny. V místě, kde je Plocha 2 došlo ke snížení velikosti objemového průtoku. Dá se tedy říci, že zátka škrtní průtok chladicí kapaliny do místa v Ploše 2.

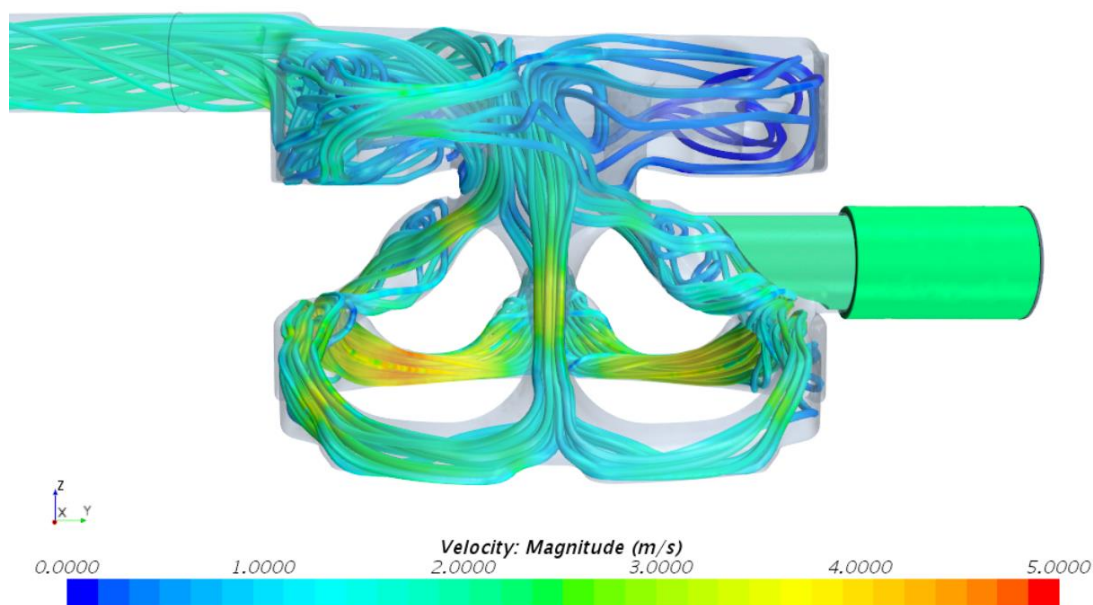
7.1.3 Výsledky verze 3

V poslední verzi simulace zůstaly okrajové a fyzikální podmínky stejné jako u předchozích dvou verzí. Geometrie je shodná s verzí 2, s tím rozdílem, že zátka byla posunuta v

kladném směru osy Y. Argumentem pro posunutí zátky se stal malý hmotnostní průtok ve verzi 2, v Ploše 2. Ze zhodnocení verze 2 bylo patrné, že je vodní prostor škrcen v dolní části porušeného omega žebra.

Tabulka 16: Verze 2, výsledný průtok

Oblast	Výsledný průtok [Kg/s]
Plocha 1	0,146
Plocha 2	0,061
Plocha 3	0,182
Plocha 4	0,086
Plocha 5	0,085
Plocha 6	0,098
Plocha 7	0,146



Obrázek 40: Verze 2, výsledný průtok

Zhodnocení:

Posunem zátky o 2 mm v kladném směru osy Y došlo k otevření průřezu nálitku v rovině YZ a k zlepšení hmotnostního průtoku oproti Verzi 2.

7.1.4 Porovnání jednotlivých variant

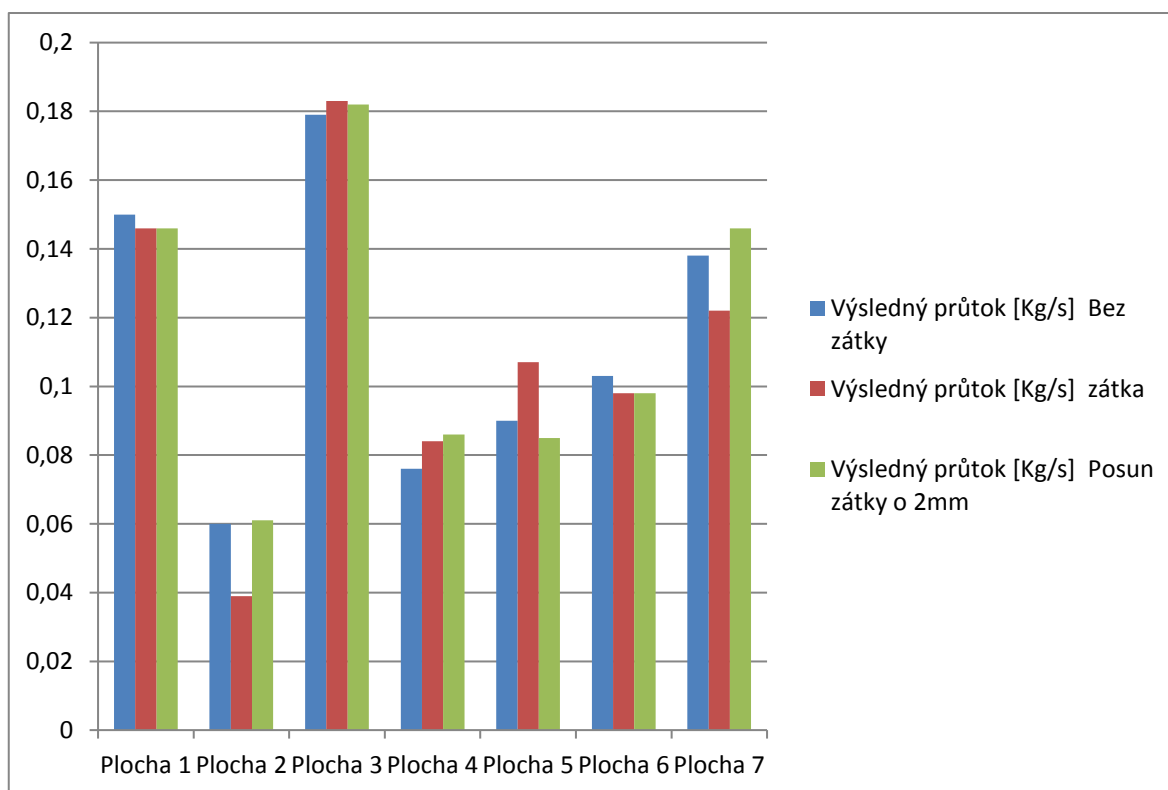
V porovnání se hodnotí verze 1, verze 2, verze 3. Ve všech porovnávaných verzích měl vodní prostor stejné okrajové podmínky a stejné fyzikální podmínky. Verze 1 byla bez zátky. Verze 2 se zátkou, která kopírovala tvar omega žebra. A verze 3 měla stejnou zátku jako

verze 2, s tím rozdílem, že byla posunuta o 2 mm v kladném směru osy Y, tudíž hmotnostní průtok byl více otevřen v místě zátky.

Tabulka 17: Porovnání průtoků jednotlivých verzí

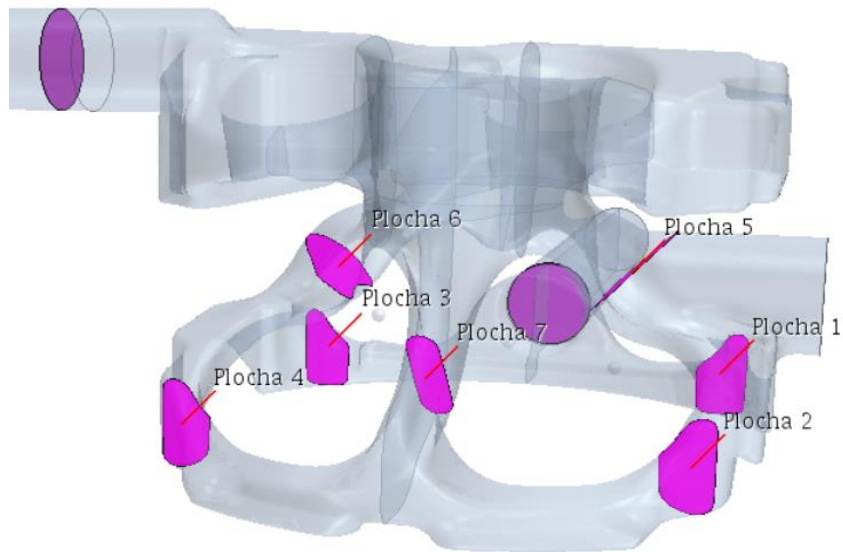
Oblast	Výsledný průtok [Kg/s]		
	Bez zátky	zátka	Posun zátky o 2mm
Plocha 1	0,150	0,146	0,146
Plocha 2	0,06	0,039	0,06
Plocha 3	0,179	0,183	0,182
Plocha 4	0,076	0,084	0,086
Plocha 5	0,090	0,107	0,085
Plocha 6	0,103	0,098	0,098
Plocha 7	0,138	0,122	0,146

Graf 1: Porovnání hmotnostních průtoků

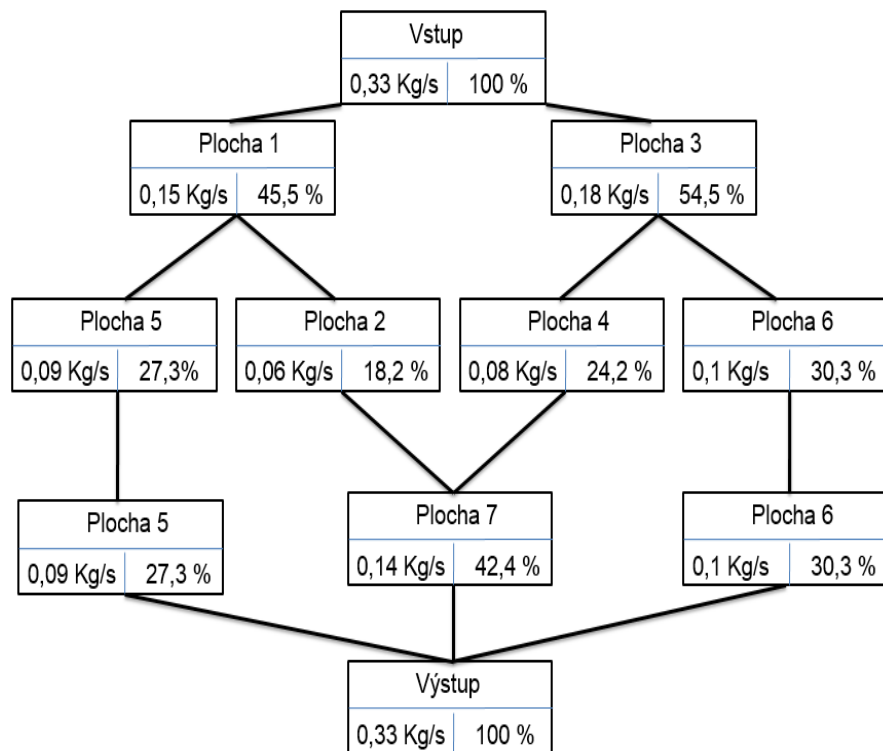


7.1.5 Zvolená varianta

V první řadě by byla výroba zátky celkem složitá a nákladná. Dále pak nalisování do nálitku by nebylo jednoduché z důvodu přesného usazení. Bylo by zapotřebí ještě vymyslet vodící drážku, která by přesně ustanovila zátku v požadované poloze, jinak by se mohlo stát, že při nalisování by se zátku pootočila mimo požadované usazení a zhoršil by se průtok. Tato negativa a výsledky průtoků jednotlivých variant hovoří jednoznačně proti této zátku. Nicméně postupem další práce bude pokus o navržení jednodušší zátky, která bude pouze ucpávat náliček, ale nebude škrtnit průtok do Plochy 2. Z výše uvedených důvodů byla zvolena varianta 1 - vodní prostor bez zátky.



Obrázek 41: Kontrolní plochy vodního prostoru



Obrázek 42: Plochy rozděleny do schématu s konkrétními hodnotami

7.2 Výsledky tepelného namáhání

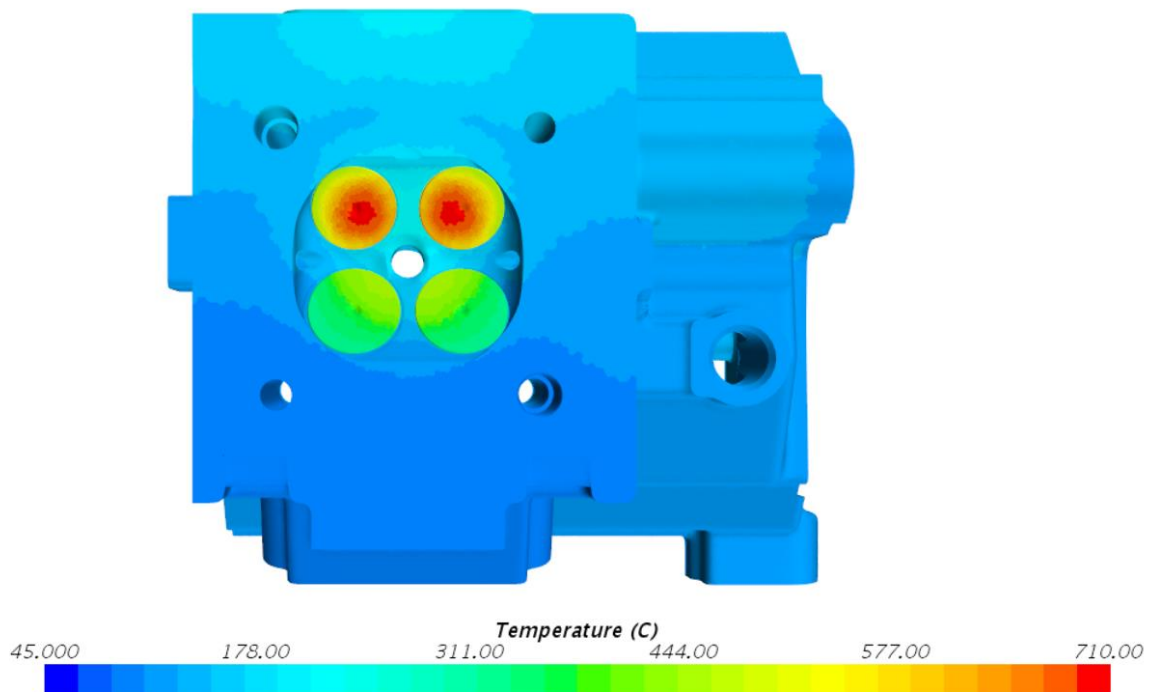
V této kapitole jsou počítány dvě verze tepelného namáhání. První z nich je nepřepřlňovaná, která má okrajové podmínky převzaté ze sériového motoru 1.6 MPI. Druhou variantou je přepřlňovaná verze, která má průtokové okrajové podmínky shodné jako nepřepřlňovaná (1.6 MPI), ale některé konvektivní okrajové podmínky má upravené z přepřlňované verze (BSCE).

7.2.1 Výsledky simulace nepřepřlňované varianty

Výsledky této varianty byly porovnány s výsledky tepelného namáhání sériové hlavy válců 1,6 MPI. Největším rozdílem oproti sérii je počet válců. Kdy jednoválcový motor nemá spalovací prostor ovlivňován sousedními spalovacími prostory.

- Sestava hlavy válců

Z tepelné simulace je zřejmé, že nejvíce tepelně namáhané součásti sestavy hlavy válců jsou výfukové ventily.



Obrázek 43: Teploty sestavy hlavy válců, nepřepřlňované verze

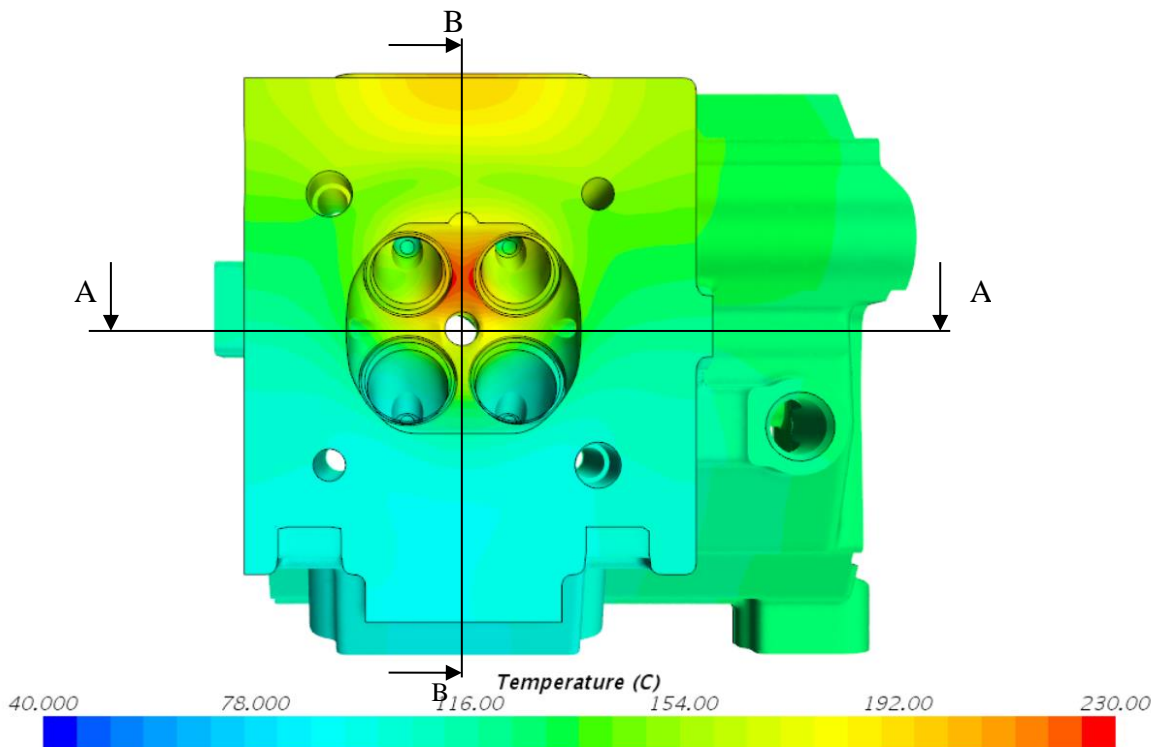
- Hlava válců

Podle očekávání je nejteplejší místo hlavy válců v můstku mezi výfukovými sedly, na sací straně se objevily nižší teploty než na straně výfukové.

Zvolené kontrolní body leží na stejném místě jako body v sériové hlavě válců 1,6 MPI. V sériové hlavě jsou navíc do těchto míst nastaveny termočlánky na měření teplot. Naměřené teploty se následně porovnávají s vypočtenými simulacemi.

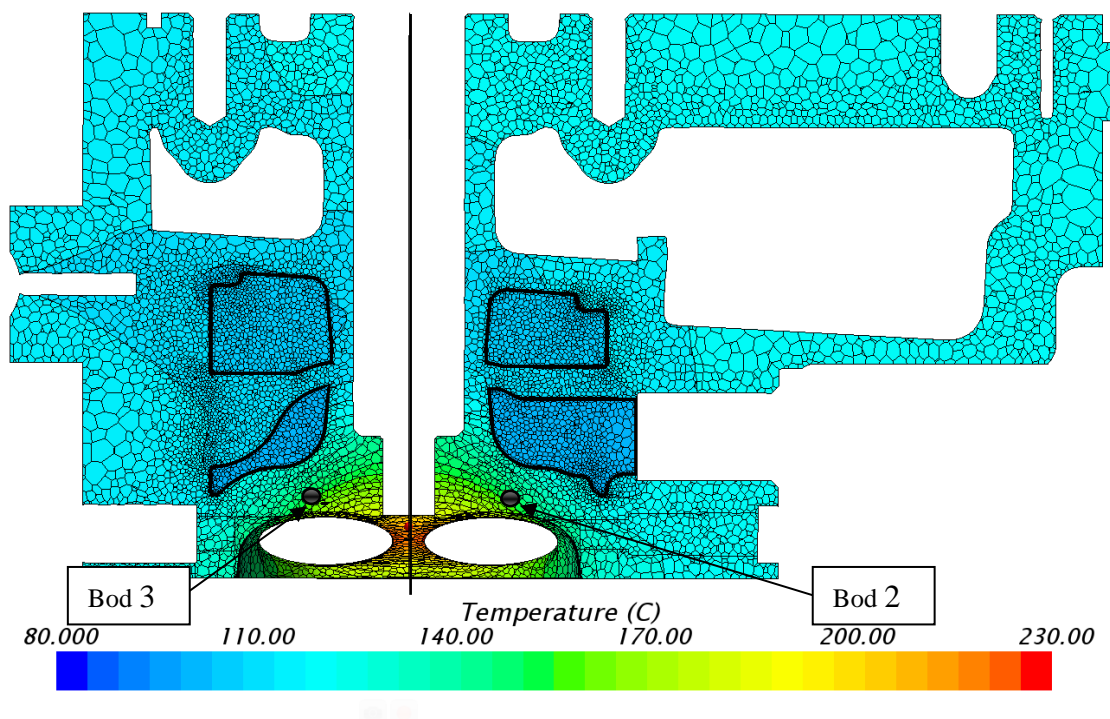
Na základě shodného umístění kontrolních bodů lze porovnávat teploty jednoválcové a sériové hlavy válců, a tak jednoválcový model optimalizovat. Není to zcela přesné, ale je to jediné možné srovnání, které se nabízí. Optimalizace probíhala na základě regulace konvek-tivní okrajové podmínky ve výfukovém kanále, a to teploty. Teplota ve výfukovém kanále byla nakonec nastavena na 700°C. Navíc tato teplota je podobná namapovaným teplotám ve výfukovém kanále sériové hlavy válců 1.6 MPI. Při této zvolené okrajové podmínce hodnoty teploty v nejteplejším kontrolním bodě jednoválcové hlavy válců se přibližně shodo-valy s teplotami sériové hlavy válců.

Na obrázku 44 jsou vidět roviny, ve kterých byl proveden řez.



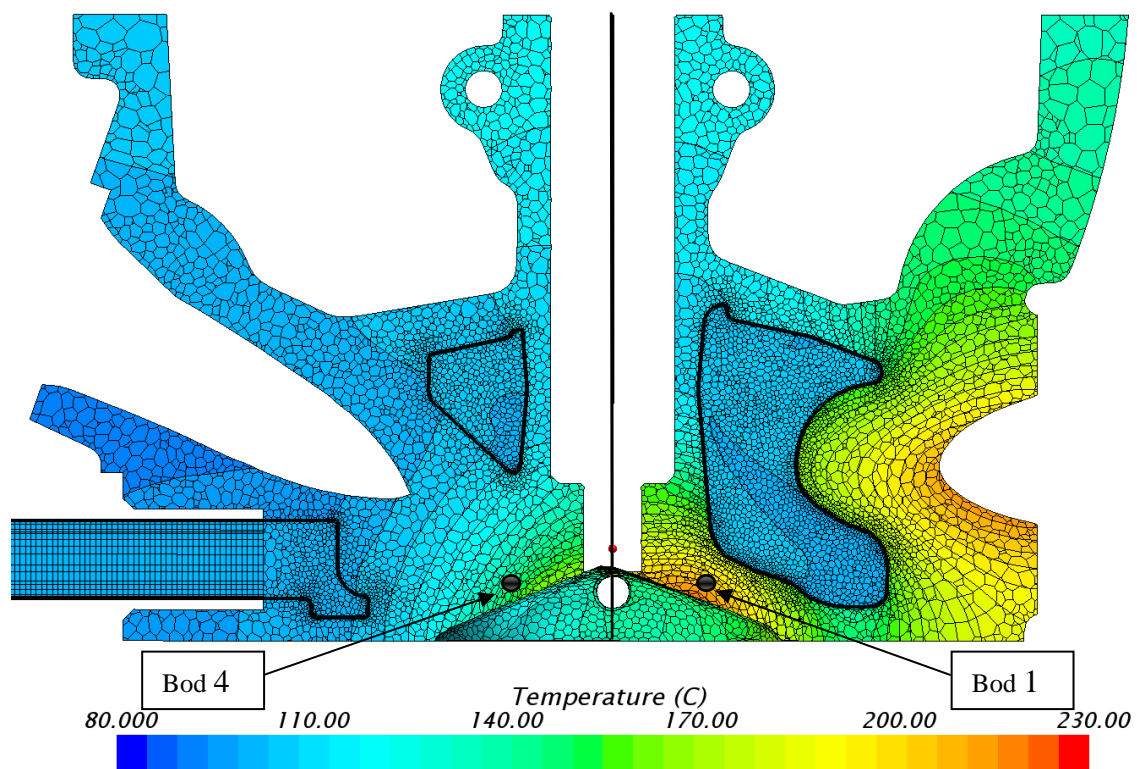
Obrázek 44: Teploty přeplňované hlavy válců

Na obrázku 45 je vidět řez rovinou AA. V této rovině jsou zobrazeny kontrolní body: bod 2 a bod 3, ve kterých se měřila teplota. Umístění těchto bodů je přibližně 3 milimetry kolmo od tečny k ploše spalovacího prostoru.

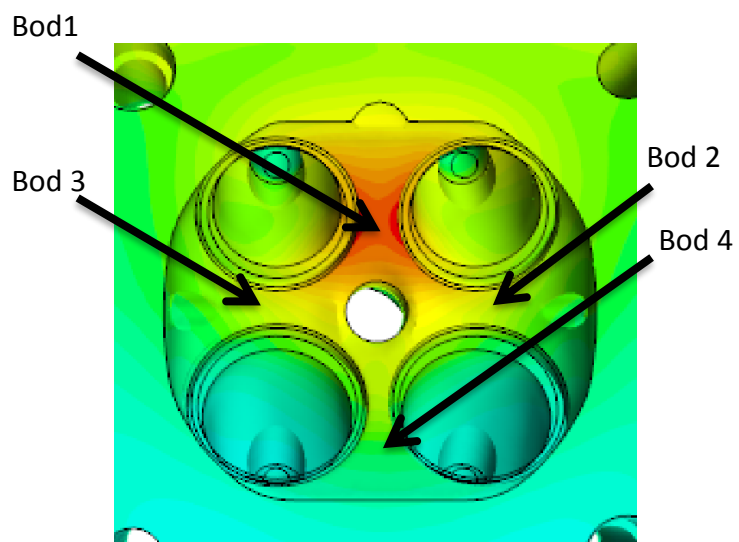


Obrázek 45: Řez rovinou AA

Obrázek 46 vyznačuje umístění bodu 1 a bodu 4 v rovině BB. Opět tyto dva body jsou vzdáleny přibližně 3 milimetry kolmo od tečny k ploše spalovacího prostoru.



Obrázek 46: Řez rovinou BB



Obrázek 47: Poloha bodů

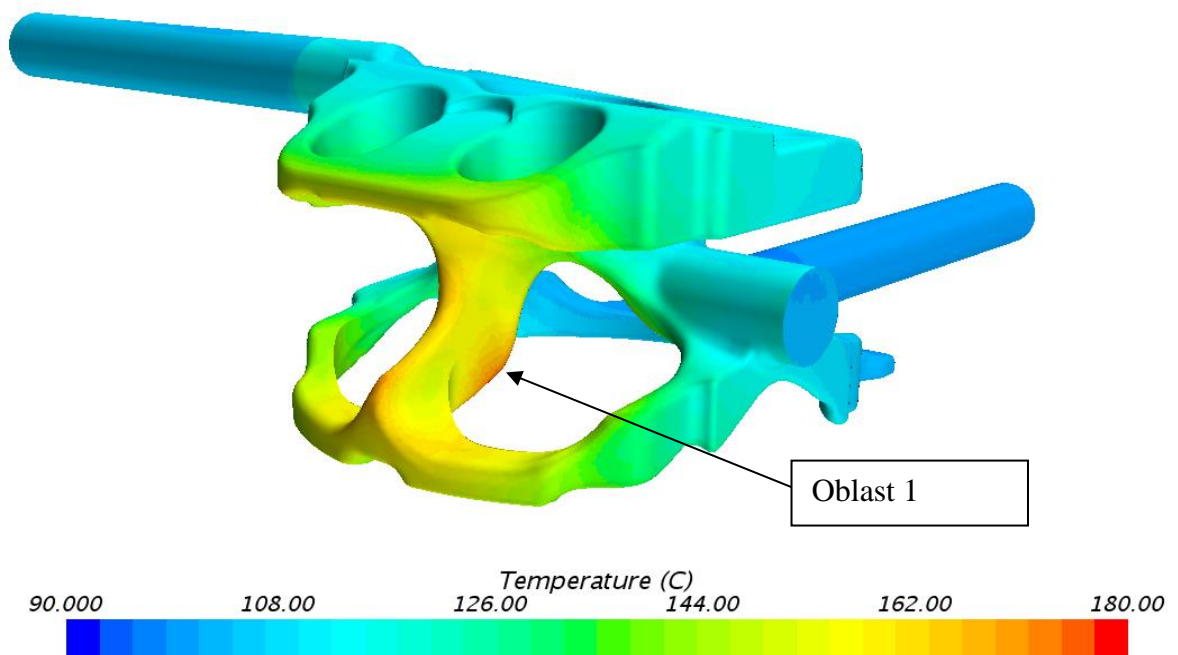
Tabulka 18: Porovnání teplot nové hlavy se sériovou

	Nová hlava válců [°C]	Sériová hlava válců 1.6 MPI, druhý válec [°C]
Bod 1	1,05* T1	T1
Bod 2	0,91* T2	T2
Bod 3	0,91* T3	T3
Bod 4	0,93* T4	T4

Z tabulky 18 je patrné, že nejvyšší teplota vychází v kontrolním bodě 1.

- Stěna vodního prostoru

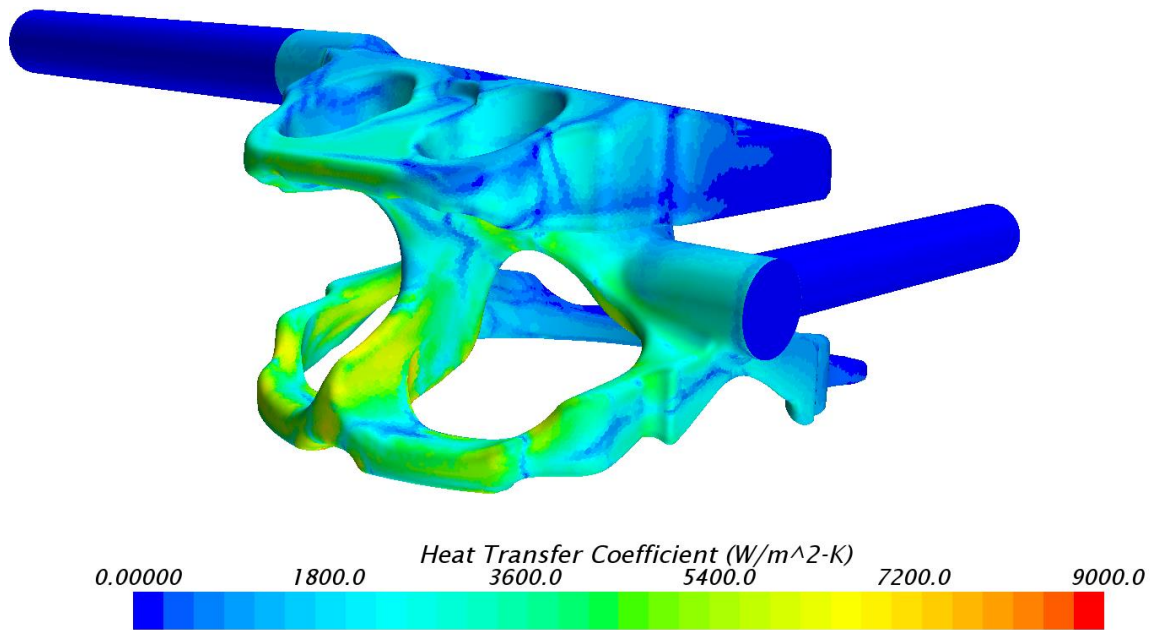
Teplota stěny vodního prostoru je vidět na obrázku 48. Oblast 1 je místo vodního prostoru hlavy válců, kde teplota stěny dosahuje kolem 180°C.



Obrázek 48: Teplota stěny vodního prostoru nepřehřované varianty

- Součinitel přestupu tepla chladicí kapaliny

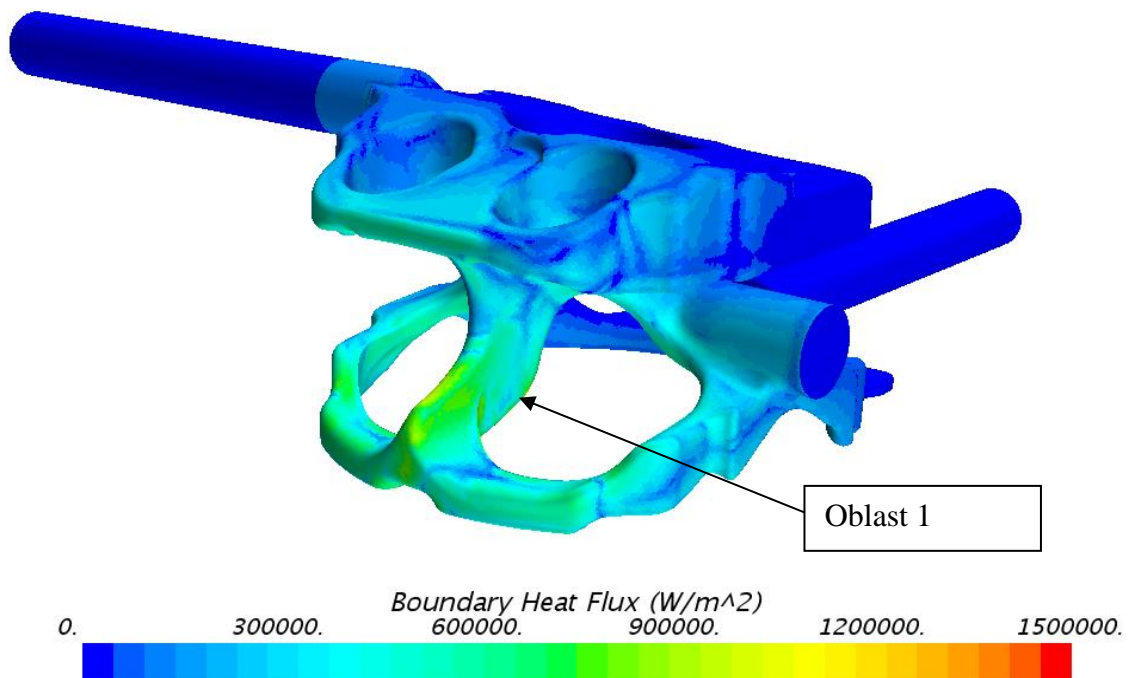
Hodnoty součinitele přestupu tepla chladicí kapaliny jsou vidět na obrázku 49. Nikde není vidět, že by docházelo k výraznému nárůstu součinitele tepla (např. dvacetinásobně).



Obrázek 49: Výsledky součinitele přestupu tepla nepřepřlňované verze

- Hustota tepelného toku stěnou vodního prostoru

Hustota tepelného toku má nejvyšší hodnoty v oblasti 1. Pohybují se přibližně kolem 1 000 000 (W/m²).

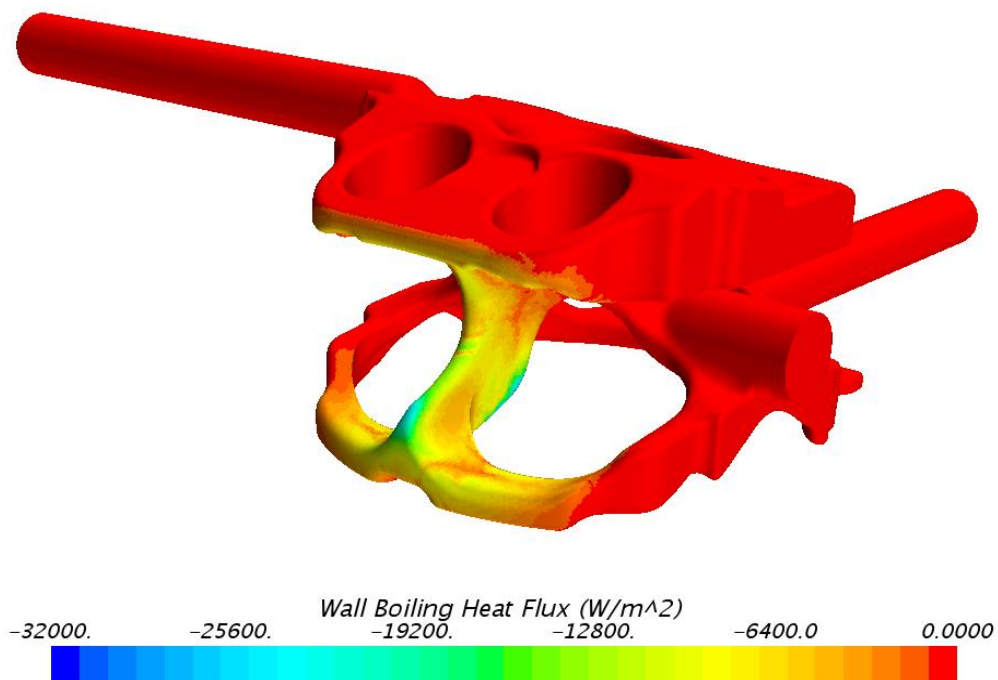


Obrázek 50: Hustota tepelného toku stěnou vodního prostoru nepřepřlňované verze

- Var chladicí kapaliny

Z hlediska modelování je var komplikovaný jev. V této diplomové práci byl využit základní model varu. při teplotě 400 K (126,85°C). Chladicí kapalina v přetlakovém systému jednoho baru bude vařit při teplotě nad 120°C (zjištěno měřením v EA 211), ale přesně při jaké, to není jisté, jelikož není k dispozici křivka závislosti varu chladicí kapaliny na tlaku. Pro komplexnější model varu by byla potřeba transienční simulace, která je časově náročnější.

Na obrázku 51. je vidět o kolik se změní hustota tepelného toku při varu chladicí kapaliny na stěně vodního prostoru hlavy válců. V místě, kde použitý výpočetní model predikuje var, dochází k deformaci hustoty tepelného toku. Na stěnách se pravděpodobně vytvoří souvislá vrstva syté páry. Toto místo je podle očekávání na výfukové straně vodního prostoru. Hodnoty hustoty tepelného toku při varu oproti hodnotám celkového tepelného toku se sníží, přibližně o 3 procenta.



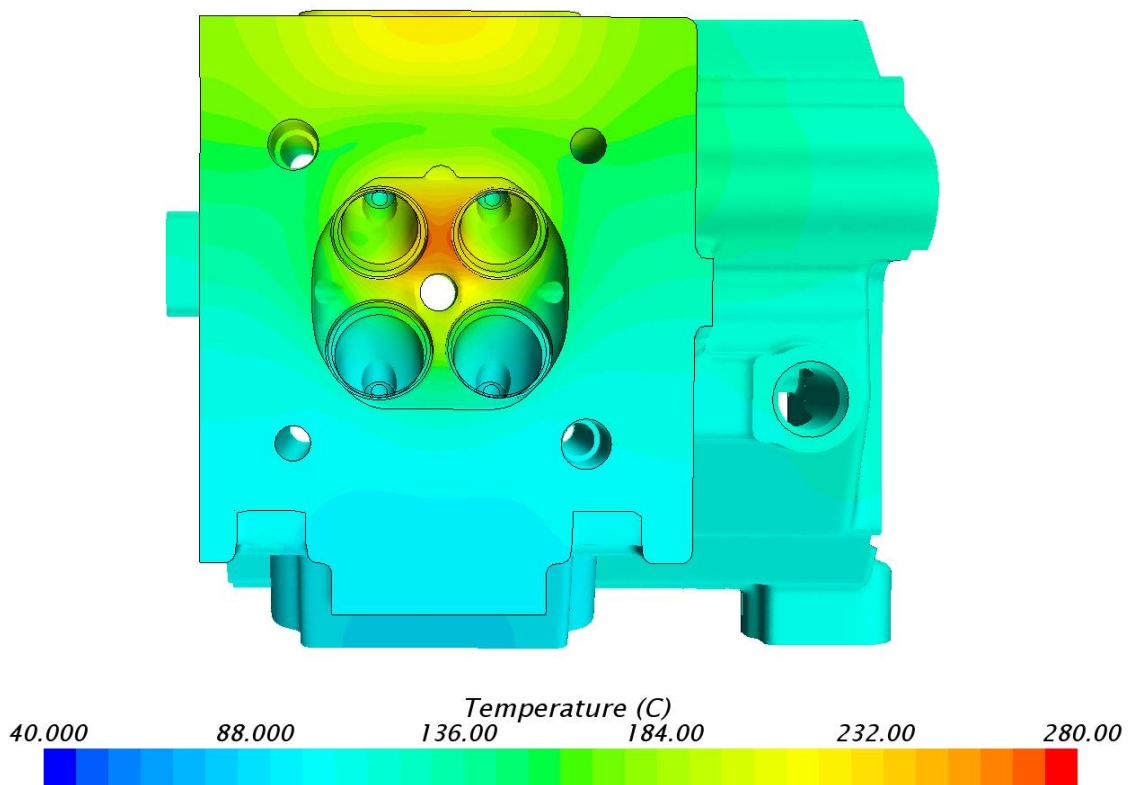
Obrázek 51: Deformace hustoty tepelného toku při varu na stěně vodního prostoru nepřepřítované verze

7.2.2 Výsledky simulace přepřlňované varianty

Do budoucna se motor Škoda bude nejspíše přepřlňovat, proto je v zadání této práce zjistit, jak na tom bude jednoválcová hlava válců s teplotami.

- Hlava válců

Přepřlňovaná varianta se liší v konvektivních okrajových podmínkách. Součinitel přestupu tepla je 1,4x vyšší v sacím kanále, výfukovém kanále a ve spalovacím prostoru oproti nepřepřlňované variantě. Okolní teploty se liší pouze ve výfukovém kanále, kde jsou 1,1x vyšší než v případě nepřepřlňované varianty. Díky tomu jsou očekávány vyšší teploty v hlavě válců.



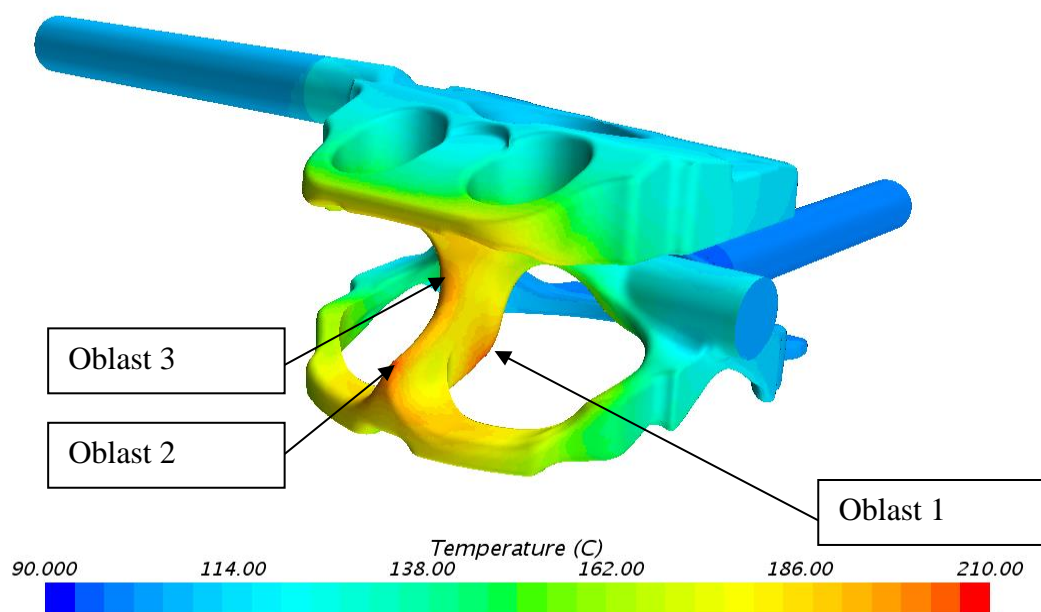
Obrázek 52: Teploty přepřlňované hlavy válců

Tabulka 19: Porovnání teplot nové přeplňované hlavy se sériovou

	Nová hlava válců, přeplňovaná verze [°C]	Sériová hlava válců 1.6 MPI, druhý válec [°C]
Bod 1	1,2* T1	T1
Bod 2	1,02*T2	T2
Bod 3	1,02*T3	T3
Bod 4	1,01*T4	T4

Jak je vidět v tabulce výsledků, přeplňovaná verze má poměrově vyšší teploty v můstku mezi sedly výfukového kanálu (bodě 1), oproti sériové.

- Stěna vodního prostoru

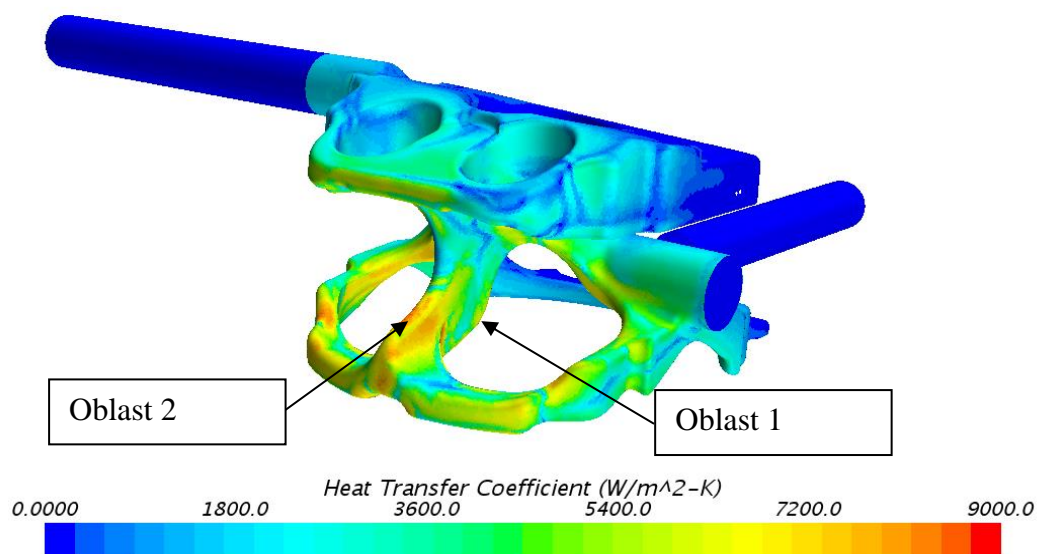


Obrázek 53: Teplota stěny vodního prostoru přeplňované varianty

Oblast 1 je místo vodního prostoru hlavy válců, kde teplota stěny dosahuje kolem 210°C. V oblastech 2 a 3 je teplota lehce pod 200°C.

- Součinitel přestupu tepla

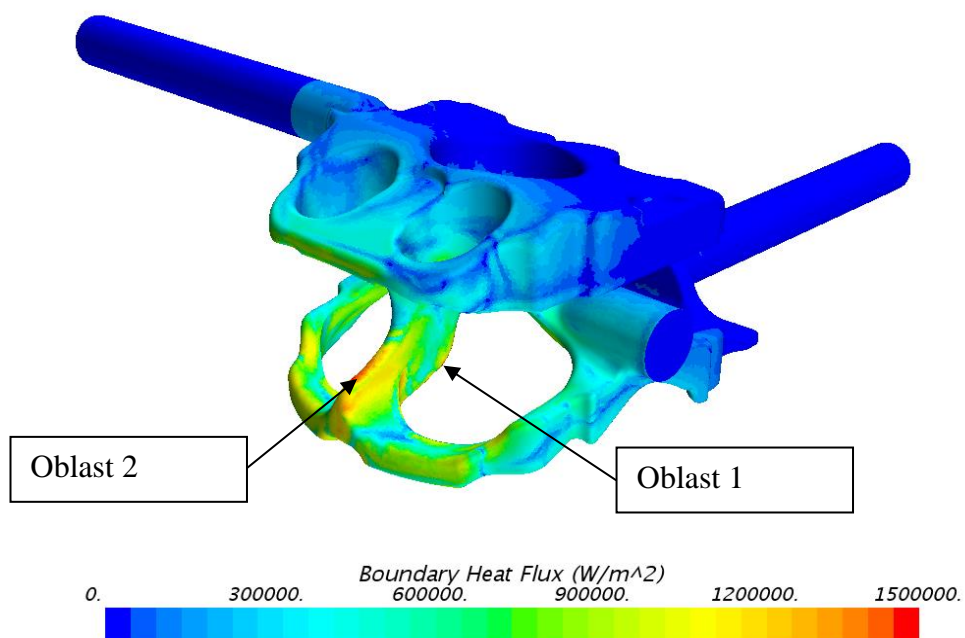
Součinitel přestupu tepla chladicí kapaliny přeplňované verze má vyšší hodnoty než nepřepřňované, a to zvláště v lokálních místech. Například v oblasti 1 a 2.



Obrázek 54: Výsledky součinitele přestupu tepla přepřlňované verze

- Hustota tepelného toku stěnou vodního prostoru

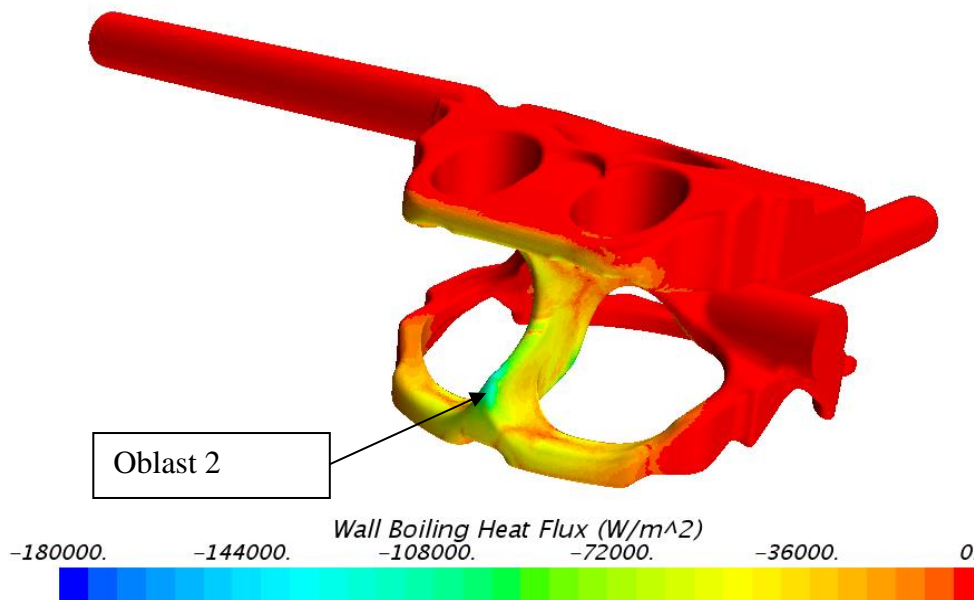
Zde jsou vyšší hodnoty, než u nepřepřlňované verze a pohybují v oblasti 2 kolem $1\,300\,000\ W/m^2$. V oblasti jedna dokonce kolem $1\,500\,000\ W/m^2$.



Obrázek 55: Hustota tepelného toku stěnou vodního prostoru přepřlňované verze

- Var chladicí kapaliny

Hustota tepelného toku se vlivem varu, v oblasti 2, se změní o přibližně o 7 procent.



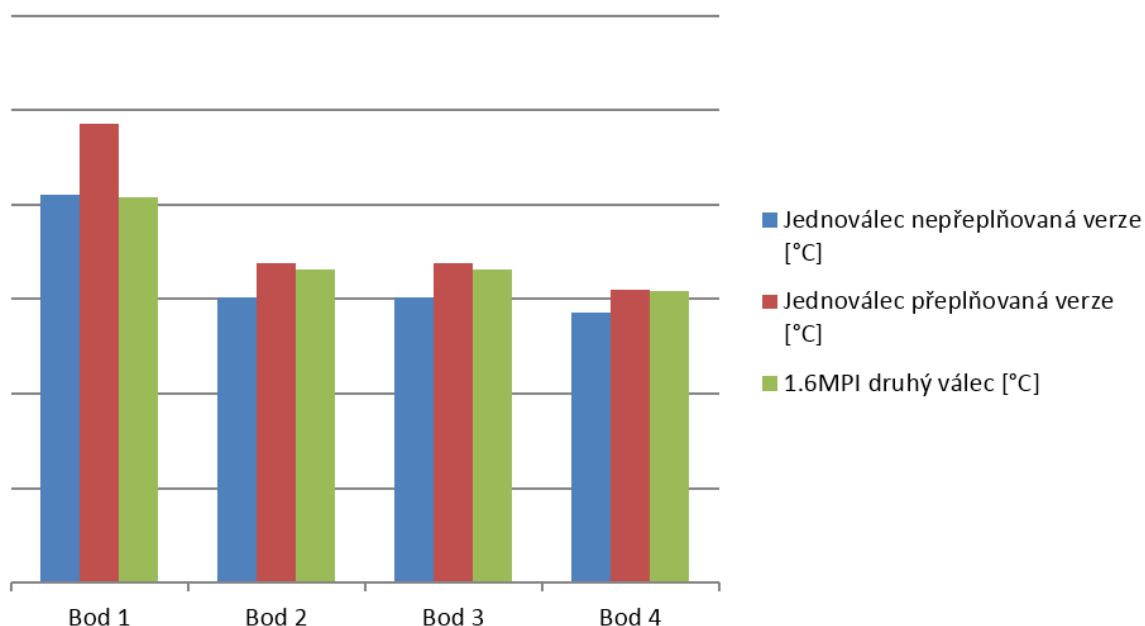
Obrázek 56: Tepelný tok při varu na stěně vodního prostoru přeplňované verze

7.2.3 Porovnání přeplňované a nepřeplňované varianty

Tabulka 20: Porovnání teplot jednotlivých verzí

	Jednoválec nepřeplňovaná verze [°C]	Jednoválec přeplňovaná verze [°C]	1.6 MPI druhý válec [°C]
Bod 1	1,05* T1	1,2* T1	T1
Bod 2	0,91* T2	1,02*T2	T2
Bod 3	0,91* T3	1,02*T3	T3
Bod 4	0,93* T4	1,01*T4	T4

Graf 2: Porovnání teplot jednotlivých verzí



Jak je vidět z grafu, teploty přepřlňované jednoválcové hlavy válců se v bodech 2, 3 a 4 více shodují s teplotami sériové 1,6 MPI než s teplotami nepřepřlňované verze, s rozdílem v bodě 1. Bod 1 je umístěn v můstku mezi sedly výfukového kanálu. Na tomto místě vyšla z kontrolních bodů nejvyšší teplota, a to $1,2 \cdot T_1$. Tyto teploty poslouží jako okrajová podmínka do další diplomové práce, kde se bude počítat strukturální analýza.

U nepřepřlňované varianty, vypočítané teploty by neměly mít vliv na správnou funkčnost motoru, protože při podobných teplotách pracuje sériová hlava válců. U přepřlňované varianty to nelze posoudit. Nejsou totiž k dispozici teploty sériových TSI motorů, ani materiálové charakteristiky.

8 ZÁVĚR

První část diplomové práce se věnovala modelování hlavy válců. Byly převzaty vnitřní objemy ze sériové hlavy válců 1.6 MPI. Z nich byly použity spalovací prostor a sací kanál, oba v původním stavu. Vodní prostor a olejový prostor byly upraveny a výfukový kanál byl vytvořen zcela nový, na základě podobnosti se sériovým. Dále byl vytvořen 3D CAD model odlitku hlavy válců, který se skládá z výše uvedených vnitřních objemů. Na základě tohoto modelu byl vytvořen 3D CAD model obrábění. Tento model byl následně popsán v jedné z kapitol. Když byl hotov model obrábění, vytvořila se výkresová dokumentace pro výrobu hlavy válců. Dále pak výkresová dokumentace obrábění sedel ventilů.

V další byly popsány součásti nezbytné pro funkčnost hlavy válců, části rozvodových mechanismů, jako jsou například zmiňovaná sedla ventilů nebo samotné ventily, ventilové pružiny atd. V této části byly také popsány jednotlivé snímače, které se umístí do hlavy válců pro různá měření.

Poslední část této práce byla zaměřena na výpočty. První část se zabývala prouděním ve vodním prostoru a druhá tepelnou analýzou hlavy válců. Jednalo se o jednu výpočetní úlohu. Simulace vodního prostoru a tepelná analýza probíhala společně. Tato dvě části se navzájem ovlivňují.

Před výpočtem bylo nejprve potřeba importovat vytvořenou geometrii, upravit ji a nastavit výpočetní síť. Následně se nastavily materiálové vlastnosti a použitý fyzikální model výpočtu. Zadaly se okrajové podmínky. Pro vodní prostor to byly hmotnostní průtok a teplota na vstupu. Na výstupu se zadávaly tlak a teplota. Okrajové podmínky byly u nepřepřlňované varianty z motoru 1.6 MPI, u přepřlňované (BSCE).

Pro optimalizaci vodního prostoru byly v CFD simulaci počítány tři varianty vodního prostoru. První byla bez zátky, druhá se zátkou a v poslední byla zátky vysunuta o 2 mm. Tyto varianty byly následně porovnány a byla vybrána ta nejlepší z hlediska průtoku, a to zejména v oblasti výfukových sedel. Následně byla provedena simulace tepelného namáhání hlavy válců, ve které se objevily dvě varianty. První byla varianta nepřepřlňovaná (1.6 MPI) a druhá přepřlňovaná (BSCE). Nejvyšší teplota u nepřepřlňované varianty hlavy válců vyšla v můstku mezi výfukovými sedly. Oproti sériové hlavě válců 1.6 MPI se liší jen minimálně. Kdežto u přepřlňované verze tato teplota vyšla 1,2x vyšší oproti sérii. Tyto vypočítané teploty budou sloužit jako okrajová podmínka do další diplomové práce, ve které se bude počítat strukturální analýza sestavy hlavy válců s blokem motoru.

Cíle této diplomové práce byly bez výjimky splněny. Další navrhovaný postup spočívá v zajištění výroby hlavy válců. Nejprve odlitku hlavy válců, který se bude vyrábět z 3D dat CAD modelu. Následně obrobku, který se bude vyrábět na základě výkresové dokumentace. Další verze hlavy válců bude již připravena na vypínání ventilů a na přímé vstřikování. V současné době jsou již některé díly zkušebního jednoválcového motoru zadány do výroby. Po výrobě posledních komponentů bude možné motor sestavit a zprovoznit.

9 CITOVANÁ LITERATURA

1. Chlazení motorů, údržba, opravy chladicích soustav. *Publi*. [Online]
<https://publi.cz/books/160/14.html>.
2. Paliva a maziva. [autor knihy] Vladimír Matějovský. *Paliva a maziva*. 2008.
3. Staněk, Josef. Všeobecné zhodnocení automobilového agregátu 1,2 HTP. *SAVS*.
[Online] [Citace: 4. 7 2017.]
4. OPLUŠTIL, TOMÁŠ. VYŠETŘENÍ DYNAMICKÉHO NAMÁHÁNÍ. *Diplomová práce, VUT Brno*. [Online] [Citace: 4. 7 2017.]
https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=6174.
5. Tenkovrstvé piezoelektrické. *VSCHT*. [Online] [Citace: 4. 7 2017.]
https://fchi.vscht.cz/files/uzel/0010359/14_senzory_QCM.pdf?redirected.
6. Příhoda, J a Louda, P. *Matematické modelování turbulentního proudění*. Praha :
Nakladatelství ČVUT, 2007. 978-80-01-03623-5.
7. Ježek, Jan, Váradiová, Blanka a Adamec, Josef. *Mechanika tekutin*. Praha :
Vydavatelství ČVUT, 2000. ISBN 80-01-01615-3.
8. Tichánek, R., Španiel, M. a Diviš, M. Structural Stress Analysis of an Engine. *CTU Open Journal Systems*. [Online] [Citace: 4. 7 2017.]
<https://ojs.cvut.cz/ojs/index.php/ap/article/viewFile/706/538>.
9. UZUNEANU, Krisztina, a další. Experimental and computational study on thermal stresses in the cylinder head of a spark ignition engine fueled with ethanol - gasoline blends. [Online] [Citace: 4. 7 2017.]
<https://www.scribd.com/document/35460498/Thermal-Stresses-in-the-Cylinder-Head>.
10. Přenos tepla. *Katedra fyziky, Fakulta aplikovaných věd, Západočeská universita*.
[Online] [Citace: 4. 7 2017.]
<http://kfy.zcu.cz/export/sites/kfy/dokumenty/FYSV/PrenosTepla.pdf>.
11. Přenos tepla. *Obor termomechaniky a techniky prostředí, Energetický ústav, VUT Brno*. [Online] [Citace: 4. 7 2017.]
<http://ottp.fme.vutbr.cz/skripta/termomechanika/teorie/T10-01.pdf>.
12. Nožička, Jiří. *Základy Termomechaniky*. Praha : Česká technika - Nakladatelství ČVUT, 2008, 2008. ISBN 978-80-01-04022-5.

13. Siemens. *STAR-CCM+® Documentation (User Guide)*.
14. EOS // ALUMINIUM ALSI10MG. *Studiofathom*. [Online] [Citace: 4. 7 2017.]
http://studiofathom.com/wp-content/uploads/2015/06/20150403_FATHOM_DMLS_Datasheet-v1.pdf.
15. Dařourek, Karel. Žihání prvního druhu. *Teorie tepelného zpracování, Katedra materiálů TUL*. [Online] [Citace: 4. 7 2017.]
http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magistri/TTZ/ttz%20Dad/zih1.pdf.
16. Lempera, Aleš a Červenka, Libor. Okrajové podmínky pro přeplňovanou variantu. Mladá Boleslav : autor neznámý, 2017.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Jednoválcový motor AVL 5402	10
Obrázek 2: Motor Škoda v současné podobě.....	11
Obrázek 3: Odlitek hlavy válců	13
Obrázek 4: Vodní prostor z řešení jako v sériovém případě.....	15
Obrázek 5: Nově řešený vodní prostor	15
Obrázek 6: Olejový prostor.....	16
Obrázek 7: Obrobek hlavy válců	17
Obrázek 8: Pohled zleva	18
Obrázek 9: Pohled zprava	18
Obrázek 10: Pohled zepředu	19
Obrázek 11: Pohled zezadu.....	19
Obrázek 12: Pohled zespoďu.....	20
Obrázek 13: Pohled seshora.....	20
Obrázek 14: Přívod tlakového oleje.....	21
Obrázek 15: Na obrázku je vidět sestava hlavy válců s komponenty.....	22
Obrázek 16: Kistler 4005B	23
Obrázek 17: Kistler 4049B	23
Obrázek 18: AVL GU22C	24
Obrázek 19: AVL GC24D	24
Obrázek 20: Prostup tepla.....	28
Obrázek 21: Schéma výpočtu	30
Obrázek 22: Rozhraní Repairsurface v programu Star CCM+.....	31
Obrázek 23: Zobrazení podzáložky Surface ve stromě	32
Obrázek 24: Síť vodního prostoru	33
Obrázek 25: Síť sestavy hlavy válců	33
Obrázek 26: Zobrazení položky Materiál properties ve stromě	34
Obrázek 27: Vodní prostor v hlavě válců	39
Obrázek 28: Konvektivní okrajová podmínka spalovacího prostoru	40
Obrázek 29: Konvektivní okrajové podmínky, okolní teplota	40
Obrázek 30: Konvektivní okrajové podmínky, součinitel přestupu tepla	41
Obrázek 31: Zobrazení položky Boundaries ve stromě.....	42
Obrázek 32: Vypočtené tepelné toky pro nepřehřívovanou variantu SCE [16].....	45

Obrázek 33: Vypočtené tepelné toky pro přepřňovanou variantu [16].....	46
Obrázek 34: Podíl tepelných toků obou variant.....	47
Obrázek 35: Kontrolní plochy vodního prostoru, pohled 1	50
Obrázek 36: Kontrolní plochy vodního prostoru, pohled 2	50
Obrázek 37: Plochy rozděleny do schématu	51
Obrázek 38: Verze 1, proudnice	52
Obrázek 39: Verze 2, proudnice	53
Obrázek 40: Verze 2, výsledný průtok	54
Obrázek 41: Kontrolní plochy vodního prostoru	57
Obrázek 42: Plochy rozděleny do schématu s konkrétními hodnotami.....	57
Obrázek 43: Teploty sestavy hlavy válců, nepřepřňované verze.....	58
Obrázek 44: Teploty přepřňované hlavy válců	59
Obrázek 45: Řez rovinou AA	60
Obrázek 46: Řez rovinou BB.....	61
Obrázek 47: Poloha bodů.....	61
Obrázek 48: Teplota stěny vodního prostoru nepřepřňované varianty	62
Obrázek 49: Výsledky součinitele přestupu tepla nepřepřňované verze	63
Obrázek 50: Hustota tepelného toku stěnou vodního prostoru nepřepřňované verze.....	63
Obrázek 51: Deformace hustoty tepelného toku při varu na stěně vodního prostoru nepřepřňované verze.....	64
Obrázek 52: Teploty přepřňované hlavy válců	65
Obrázek 53: Teplota stěny vodního prostoru přepřňované varianty	66
Obrázek 54: Výsledky součinitele přestupu tepla přepřňované verze	67
Obrázek 55: Hustota tepelného toku stěnou vodního prostoru přepřňované verze	67
Obrázek 56: Tepelný tok při varu na stěně vodního prostoru přepřňované verze	68

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Porovnání parametrů motoru AVL a motoru Škoda	12
Tabulka 2: Základní požadavky na motor Škoda	12
Tabulka 3: Shrnutí vlastností sítě.....	32
Tabulka 4: Fyzikální parametry chladicí kapaliny	35
Tabulka 5: Fyzikální parametry jednotlivých součástí sestavy hlavy válců.....	35
Tabulka 6: Shrnutí parametrů modelu tekutiny	36
Tabulka 7: Shrnutí parametrů modelu pevných látek.....	37
Tabulka 8: Nastavené parametry motoru 1,6 MPI při měření	38
Tabulka 9: Nastavení okrajových podmínek	39
Tabulka 10: Nastavené kontakty mezi plochami	42
Tabulka 11: Nastavení konvektivních okrajových podmínek jednotlivých ploch	43
Tabulka 12: Nastavené parametry pro výpočet přeplňované varianty	44
Tabulka 13: Porovnání konvektivních okrajových podmínek obou verzí, pouze těch, které se měnily.....	48
Tabulka 14: Verze 1, výsledný průtok.....	51
Tabulka 15: Verze 2, výsledný průtok.....	53
Tabulka 16: Verze 2, výsledný průtok.....	54
Tabulka 17: Porovnání průtoků jednotlivých verzí	55
Tabulka 18: Porovnání teplot nové hlavy se sériovou.....	62
Tabulka 19: Porovnání teplot nové přeplňované hlavy se sériovou	66
Tabulka 20: Porovnání teplot jednotlivých verzí.....	68

SEZNAM GRAFŮ

<i>Graf 1: Porovnání hmotnostních průtoků</i>	52
<i>Graf 1: Porovnání teplot jednotlivých verzí</i>	52

SEZNAM POUŽITÉ SYMBOLIKY

symbol	význam	jednotka
q	hustota tepelného toku	$[W.m^{-2}]$
λ	tepelná vodivost	$[W.m^{-1}.K^{-1}]$
α	součinitel přestupu tepla	$[W.m^{-2}.K^{-1}]$
T_w	teplota stěny	[K]
T_o	teplota okolí	[K]
σ	Stefanova - Boltzmannova konstanta	$[W.m^{-2}.K^{-4}]$
I	intenzita záření	$[W.m^{-2}]$
b	šířka stěny	$[W.m^{-2}]$
T_{o1}	teplota okolí tekutiny 1	[K]
T_{o2}	teplota okolí tekutiny 2	[K]
α_1	součinitel přestupu tepla na vstupu	$[W.m^{-2}.K^{-1}]$
α_2	součinitel přestupu tepla výstupu	$[W.m^{-2}.K^{-1}]$

Seznam použitých zkratek

symbol	význam
CFD	Computational Fluid Dynamics (počítačová dynamika tekutin)
MPI	Multi Point Injection (zážehový motor koncernu, do kterého je palivová směs vstřikována vícebodově)
TSI	Twincharged Stratified Injection (označení pro zážehové přeplňované koncernové motory s přímým vstřikem benzínu)
FEA	Finite element metod (Metoda konečných prvků)
DNS	Direct Numerical Simulation (přímá numerická simulace)
RANS	RANS Reynolds Averaged Navier Stokes (Metoda časového

středování N.S. rovnic)

SCE

Single Cylinder Engine (blíže nespecifikovaný jednoválcový motor, který je nepřepřňovaný. Byl zvolen pro výpočet jako základ pro výpočet přepřňovaného motoru)

BSCE

Boosted Single Cylinder Engine (Přepřňovaný SCE)

SEZNAM PŘÍLOH

Soubory Star CCM+

Společné nastavení

- hlava_sestava_geometrie
- hlava_sestava_sit
- sim_nepreplnovana_vodni_prostor_plochy

Proudnice

- vodni_prostor_proudnice_bez_zatky
- vodni_prostor_proudnice_zatka
- vodni_prostor_proudnice_zatka_posun_2mm

Nepřepřlňovaná verze hlavy válců

- sim_nepreplnovana_hlava_sestava_teploty
- sim_nepreplnovana_voda_α
- sim_nepreplnovana_vodni_prostor_q
- sim_nepreplnovana_vodni_prostor_q_var

Přepřlňovaná verze

- sim_preplnovana_hlava_sestava_teploty
- sim_preplnovana_voda_α
- sim_preplnovana_vodni_prostor_q
- sim_preplnovana_vodni_prostor_q_var

Creo Praramertic 2

- hlava_obrobek
- hlava_nova
- saci_kanal
- olejovy_prostor1
- olejovy_prostor2
- spalovaci_prostor
- vodni_prostor
- vyfukovy_kanal