



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

DĚLENÁ HLAVA VÁLCE URČENÁ PRO SPALOVÁNÍ VODÍKU

SPLIT CYLINDER HEAD DESIGNED FOR HYDROGEN COMBUSTION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Miroslav Žabka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. David Svída, Ph.D.

BRNO 2025

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Bc. Miroslav Žabka**
Studijní program: Automobilní a dopravní inženýrství
Studijní obor: bez specializace
Vedoucí práce: **Ing. David Svída, Ph.D.**
Akademický rok: 2024/25

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

Dělená hlava válce určená pro spalování vodíku

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem je pro zadaný spalovací motor spalující jako palivo vodík, navrhnout novou dělenou hlavu válců. Bude využito rozměrů válcové jednotky Tatra T3x-928.

Cíle diplomové práce:

Provést rozbor konstrukčních řešení hlav válců vhodných pro spalování vodíku. Pro zadaný motor rodiny Tatra T3x-928 provést konstrukční návrh nové hlavy válců, provést odhad zátěžových okrajových podmínek a provést její pevnostní kontrolu.

Seznam doporučené literatury:

KIRKPATRICK, Allan T. a Colin R. FERGUSON. Internal combustion engines: applied thermosciences. Third. United Kingdom: John Wiley, 2016. ISBN 978-1-118-53331-4.

STONE, Richard. Introduction to internal combustion engines. 4th ed. Basingstoke: Palgrave Macmillan, c2012. ISBN 978-0-230-57663-6.

HEYWOOD, John, HABENICHT, Rudolph E., ed. John Heywood's a dialogue of proverbs. Berkley: University of California, 1963.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2024/25

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práca sa zaoberá konštrukčným návrhom hlavy valca určeného pre spaľovanie vodíka. Hlavným cieľom práce bolo navrhnúť novú delenú hlavu pre Tatra T3x-928. Konštrukčný návrh bol vytvorený v programe Creo Parametric. Model bol následne podrobený pevnostným výpočtom v programe Ansys Mechanical. V rámci výpočtovej časti boli definované tepelnomechanické okrajové podmienky, ktoré majú reprezentovať reálne zaťaženie hlavy valca. Výsledkom práce je súbor poznatkov o kritických miestach hlavy valca z hľadiska tepelnomechanického namáhania. Následne boli vykonané konštrukčné úpravy kritických oblastí v spaľovacom priestore. V závere sú zhrnuté hlavné poznatky získané počas riešenia, ku ktorým sa dospelo v rámci diplomovej práce a uvedené konštrukčné návrhy na zlepšenie modelu hlavy valca.

KLÍČOVÉ SLOVÁ

namáhanie hlavy valca, spaľovanie vodíka, konštrukčný návrh, motor Tatra

ABSTRACT

The master thesis deals with the structural design of a cylinder head intended for hydrogen combustion. The main objective of the thesis was to design a new split head for Tatra T3x-928. The design was created in Creo Parametric software. The model was then subjected to strength calculations in Ansys Mechanical. Within the computational part, thermo-mechanical boundary conditions were defined to represent the realistic cylinder head loading. The result of the work is a set of knowledge about the critical locations of the cylinder head in terms of thermomechanical stresses. Subsequently, design modifications of the critical regions in the combustion compartment have been made. In conclusion, the main findings obtained during the solution reached within the thesis are summarized and design suggestions for the improvement of the cylinder head model are given.

KEYWORDS

cylinder head stress, hydrogen combustion, cylinder head design, Tatra engine

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

ŽABKA, Miroslav. *Dělená hlava válce určená pro spalování vodíku*. Online, diplomová práce. David SVÍDA (vedoucí práce). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2025. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/165464>. [cit. 2025-05-22].



ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že táto práca je mojim pôvodným dielom, spracoval som ju samostatne pod vedením Ing. David Svída, Ph.D. a s použitím informačných zdrojov uvedených v zozname.

V Brne dňa 23. mája 2025

.....

Miroslav Žabka

POĎAKOVANIE

Chcel by som poďakovať vedúcemu práce Ing. Davidovi Svídovi, Ph.D. za jeho odborné vedenie, praktické rady a čas strávený konzultáciami. Taktiež by som chcel poďakovať Ing. Martinovi Beranovi za jeho pomoc pri práci v laboratóriu.

OBSAH

Úvod.....	11
1 Vodík.....	12
1.1 Vlastnosti vodíka	12
1.2 Výroba vodíka	14
1.2.1 Steam reforming	14
1.2.2 Čiastočná oxidácia	14
1.2.3 Pyrolýza	15
1.3 Výroba vodíka z obnoviteľných zdrojov	16
1.3.1 Výroba vodíka z biomasy	16
1.3.2 Splyňovanie biomasy	16
1.3.3 Pyrolýza biomasy	16
1.3.4 Výroba vodíka z plastového odpadu	17
1.3.5 Elektrokatalytická oxidácia	17
1.4 Distribúcia a skladovanie vodíka	17
1.4.1 Skladovanie vodíka	18
1.5 Vodík v palivovom článku	18
1.6 Vodík v spaľovacej komore.....	19
2 hlavy motorov	21
2.1 Dvojventilová hlava.....	21
2.2 Štvorventilová hlava	21
2.3 Miešanie zmesi vo valci	22
2.4 Sacie a výfukové kanály	25
2.5 Spaľovací priestor, umiestnenie sviečky	26
2.6 Chladenie hlavy	27
2.6.1 Priame chladenie.....	27
2.6.2 Nepriame chladenie	28
3 Tatra T3D-928.....	29
3.1 Hlava motoru Tatra.....	29
3.2 Letecká hlava	30
4 Praktická časť	33
4.1 Koncept č.1	33
4.2 Koncept č.2.....	35
4.3 Koncept č. 2.1	37
4.4 Koncept č.3	38
4.5 Koncept č.3.1	45
5 Pevnostné výpočty.....	51
5.1 Odhad záťažových okrajových podmienok	51
5.2 Pevnostná analýza koncept č. 2.1	51
5.3 Okrajové podmienky	53
5.4 Výsledky analýzy	60
5.5 Vylepšenie kritických miest	65
5.6 Pevnostný výpočet konceptu 3.1	70

Záver	75
Použité informačné zdroje.....	76
Zoznam použitých skratiek a symbolov	80

ÚVOD

V posledných rokoch je kladený dôraz na znižovanie emisií. Hlavne tých, ktoré spôsobujú skleníkový efekt. Automobilový priemysel hrá v tomto zásadnú úlohu, pretože spaľovacie motory taktiež produkujú emisie CO₂ a iné škodlivé látky. V článku sa uvádza, že do roku 2035 majú byť všetky osobné autá bez emisií [1].

Európska komisia tvrdí, že automobilový priemysel je kľúčový pre prosperitu celej Európy. Prechod k elektromobilite a digitalizácii je pre európske automobilky veľkou príležitosťou, ale aj výzvou vzhľadom na to, že čínskym automobilkám sa v posledných rokoch podarilo preraziť na európskom trhu. Mario Draghi vo svojej správe o konkurencieschopnosti európskych automobiliek varuje pred možným rizikom v priebehu nasledujúcich rokov. Automobilový sektor sa má rapídne pretransformovať k elektromobilite. Európsky výrobcovia však majú približne o 30% vyššie náklady spojené s výrobou batérií a pracovnou silou. Uvidíme, ako sa u európske automobilky s týmto vysporiadajú a akú budú mať konkurenčnú schopnosť oproti čínskym automobilkám [2].

Automobilky sa musia súčasným trendom prispôbovať. Zaujímavý je vývoj a výskum z hľadiska spaľovania vodíka a iných alternatívnych palív, ktoré nemajú tak vysoké emisie. Výskum odhaľuje [3] novú metódu na redukovanie výfukových plynov o 80 % používaním vodíkových plynov s jednoduchými materiálmi a nízkymi nákladmi na výrobu motora. Prvým krokom bolo vytvorenie nového mechanizmu, ktorý používal elektrolýzu na vytvorenie vodíkového plynu. Druhou časťou bolo vstrekovanie zmesi vodíkového plynu, vzduchu a benzínu do spaľovacieho priestoru, kde prebiehalo spaľovanie a malo za následok vyprodukovanie rovnakého množstva energie s menšími emisiami vo výfukových plynoch a zníženie spotreby benzínu [3].

Predpokladá sa, že elektronika a softvér v EV má predstavovať 50 % hodnoty vozidla v budúcnosti. Výskum a vývoj v oblasti autonómneho riadenia, asistenčných systémov a umelej inteligencie budú kľúčové pre udržanie sa na trhu. Automobilky taktiež uvažujú prechod na alternatívne palivá ako sú syntetické palivá alebo vodík, ktoré by znížili uhlíkovú stopu v oblasti nákladnej dopravy [2].

Ďalšími alternatívnymi palivami, ktoré sú predmetom výskumu sú rastlinný olej, bioplyn, etanol a vodík. Vedci sa najviac zaujímajú o vodík, pre jeho jednoduchú reakciu s kyslíkom za vzniku vody a energie, vysokej hustoty energie 33,3 kWh/kg, limitom horľavosti, vysokou rýchlosťou horenia, významnou štruktúrou bez atómu uhlíka [4].

Predpokladá sa, že v nasledujúcom desaťročí sa výroba zeleného vodíka v Ázii zvýši, pretože veľa energetických lídrov investuje do rôznych energetických projektov s obnoviteľnými zdrojmi. Tento vodík by mal byť použitý pri výrobe ocele, betónu a dopravnom priemysle [5].

Dopyt po zelenom vodíku celosvetovo rastie najmä v Európe, ktorá urýchľuje rozvoj obnoviteľnej energie a sa snaží znižovať závislosť na fosílnych palivách. Tento trend následne vedie k rozvoju a výskumu v oblasti uskladnenia a dopravy vodíka, ako aj k vývoju nových materiálov pre uskladnenie vodíka. Toto napomáha k rozvoju podobných odvetví, ktoré zvyšujú hospodárstvo a prispievajú k rozvoju spoločnosti založenej na čistej obnoviteľnej energii [5].

1 VODÍK

1.1 VLASTNOSTI VODÍKA

Vodík bol objavený v roku 1766 Angličanom Henry Cavendishom. V dnešnej dobe je veľmi dôležitým chemickým prvkom. Mnoho ľudí si myslí, že v budúcnosti to bude základný zdroj energie, ktorý bude ekonomicky a ekologicky prospešný [6].

Prvý pokus o vývoj motora na vodíkový pohon sa uskutočnil v roku 1820 vedcom Rev.W.Cecil. Išlo o prvý koncepčný vynález, ktorý by poháňal vodíkovým palivom motor. Svoju prácu prezentoval pred Cambridge Philosophical Society [7].

Vodík je najľahší a najjednoduchší plynný chemický prvok, ktorý je bezfarebný, bez chuti a zápachu. Je horľavý, jeho plamene sú modrej farby. Pri horení je nutný oxidačný prostriedok (kyslík). Je tepelne vodivý a 14,38 krát ľahší ako vzduch. Vo vesmíre jeho hmota dominuje. Využíva sa ako redukčné činidlo v chemickej syntéze, pri metalurgii a ako zdroj energie. Vytvára zlúčeniny so všetkými prvkami periodickej tabuľky (okrem vzácnych kovov) hlavne s uhlíkom, kyslíkom, sírou a dusíkom [8].

Vodík vie vytvárať zvláštne chemické väzby: vodíkový mostík a vodíkové väzby. Pri vodíkovom mostíku atóm vodíka vykazuje afinitu aj k ďalším atómom s ktorými nie je viazaný klasickou chemickou väzbou. Mimoriadne silná je vodíková väzba s atómom kyslíka. To zapríčiňuje anomálne vlastnosti vody (vysoký bod varu a topenia) [8].

Tab. 1 Vlastnosti pohonných palív [9]

Palivo	Molárna hmotnosť	Hustota	Teplota varu	Teplota vznietenia	Výhrevnosť	Stechiometrické množstvo vzduchu	lambda
	[Kg/kmol]	[Kg/m ³]	[°C]	[°C]	[MJ/kg]	[Kg/kg]	[-]
Vodík	2	71	-253	570	120	34,8	0,5-10,5
Motorová nafta	170	815-855	170-360	250-350	43	14,5	0,48-1,35
Automobilový benzín	98	730-780	30-190	280,	42,5	14,6	0,4-1,7
LPG	51	540	-30	460	46,1	15,6	0,4-1,7
CNG	16	424	-162	680-750	49,1	16,9	0,7-2,1

Široká škála horenia (wide range flammability)

Vodík má širokú škálu horenia v porovnaní s ostatnými palivami. To spôsobuje, že vodík môže byť spaľovaný v spaľovacej komore v širokom rozmedzí λ . Lambda určuje v akom pomere je palivo so vzduchom dávkované. Hlavnou výhodou tejto vodíkovej zmesi je, že môže byť chudobná. V článku [10] sa uvádza, že limit horenia pre vodík je λ je od 10 do 0,14. Benzín má

limit horenia λ 3,8 do 0,66. Pri hodnotách pod 0,66 je zmes príliš chudá na horenie. Nad 3,8 je zmes príliš bohatá a obsahuje málo kyslíka na efektívne spaľovanie [10].

Spotreba paliva je lepšia, a spaľovanie je taktiež lepšie keď vozidlo pracuje s chudobnou zmesou. Teplota spaľovania je nižšia, čo spôsobuje, že sa znižuje množstvo znečisťujúcich látok vo výfukovom potrubí, najmä oxidu dusíka [10].

Nízka energia zapalovania (low ignition Energy)

Na zapálenie vodíka nie je potrebné veľká energia. Oproti benzínu môžeme konštatovať, že je o jeden rád nižšia. To umožňuje zapáliť aj chudobnú zmes. Spočiatku to môže vyzerat' ako výhoda, ale prináša to aj nežiadúce účinky. Horúce miesta v spaľovacej komore môžu byť zdrojom zapalovania, čo následne môže spôsobiť predčasné zapalovanie zmesi. Problém môže nastať aj v nepriamom vstrekaní, kedy v sacom potrubí môže dôjsť k predčasnému zapáleniu od teplej steny, alebo rozpaleného ventilu [11].

Vysoká rýchlosť horenia

Vodík má vysokú rýchlosť horenia pri stechiometrickom horení. Za týchto podmienok má vodíkový plameň takmer o 1 rád vyšší (rýchlejší) ako benzínový. Z toho vyplýva, že vodíkové motory sa môžu bližšie priblížiť termodynamicky ideálnemu cyklu motora. Pri chudobnej zmesi však táto rýchlosť horenia výrazne klesá [11].

Vysoká difúzia

Vodík je veľmi difúzny. Schopnosť rozptýliť sa vo vzduchu vedie k výhode oproti benzínu. Uľahčuje vytvorenie rovnomernej zmesi paliva so vzduchom. Ak by vodík unikal, tak má tendenciu sa rýchlo rozptýliť vo vzduchu čo je z pohľadu bezpečnosti priaznivé [11].

Nízka hustota

Nízka hustota je skôr nevýhodou ako výhodou pri spaľovaní vodíka v spaľovacej komore. Na uskladnenie vodíka pre dostatočný dojazd vozidla je potreba tlakovej nádoby s veľkým objemom [11].

small quenching distance

Táto vlastnosť udáva, ako ďaleko plameň dosiahne. Je ťažšie zhasiť plameň vodíka, ako zhasiť plameň benzínu. Táto krátka vzdialenosť môže zvyšovať tendenciu k spätnému zážihu, pretože plameň zmesi vodíka so vzduchom prechádza ľahšie pomedzi tesne zavreté sacie ventily [11].

Vysoká teplota samozapalovania (high autoignition temperature)

Táto vlastnosť vodíka je dôležitá pri určovaní kompresného pomeru, s ktorým má motor pracovať. Teplota sa zvyšuje so stlačovaním vodíka. Teplota samovznietenia nesmie byť prekročená. Z toho vyplýva, že kompresný pomer je obmedzený touto teplotou samovznietenia. Vysoká teplota samovznietenia vodíka dovoľuje zvýšiť kompresný pomer motora na rozdiel od motorov poháňaných na fosílnych palivách. Z pohľadu efektivity je tento kompresný pomer veľmi dôležitý [11,12].

1.2 VÝROBA VODÍKA

V tejto dobe je možné vyrobiť vodík rôznymi spôsobmi. Niektoré sú pomocou obnoviteľných zdrojov, iné zase pomocou fosílnych palív pri ktorých vznikajú CO a CO₂, alebo pomocou nukleárnej energie. Bežnou technológiou je elektrolyza, ktorá za pomoci elektrického prúdu rozdeľuje vodu na kyslík a vodík pri čom nevznikajú žiadne emisie oxidu dusíka. Väčšina vodíka vzniká pomocou fosílnych palív až na niektoré výnimočné situácie. Obr. 1 popisuje celosvetovú výrobu vodíka z rôznych zdrojov [14].



Obr. 1 Svetová produkcia vodíka [5]

48 % vodíka je vyrobeného zo zemného plynu 18 % je z uhlia, 30 % z ropy a elektrolyzou sa vyrábajú iba 4 % vodíka. V nasledujúcej kapitole si podrobnejšie popíšeme niektoré technológie, ich výhody a nevýhody. Elektrolyza sa javí ako najviac efektívna no však v tomto období je stále drahá a náročná na použitie vo veľkovýrobe. Najrozšírenejšou výrobou vodíka je steam reforming (parné reformovanie zemného plynu) [5].

1.2.1 STEAM REFORMING

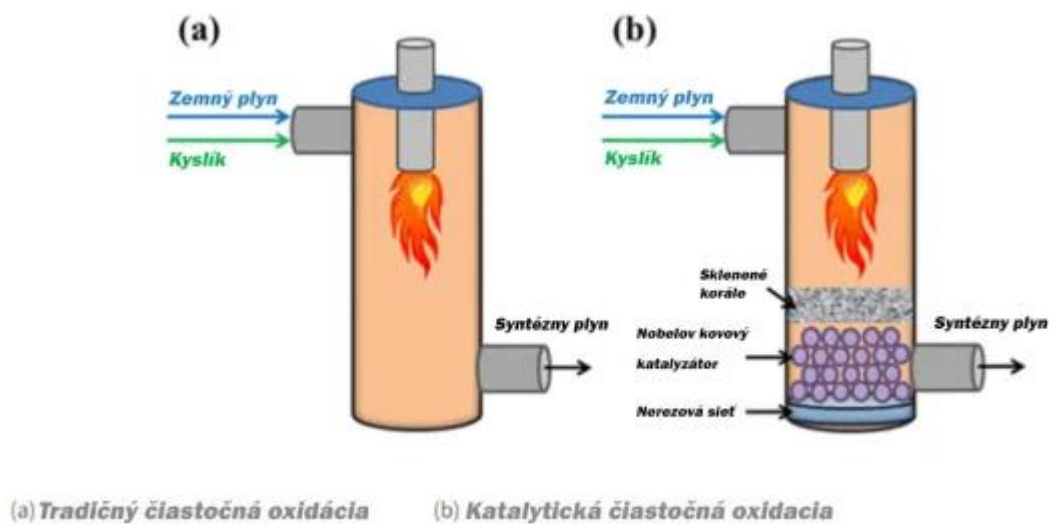


Je to reakcia metánu s vodou za vzniku oxidu uhoľnatého a vodíka. Následne oxid uhoľnatý vstupuje zase späť do reakcie s vodou a vzniká oxid uhličitý a čistý vodík [5].

1.2.2 ČIASTOČNÁ OXIDÁCIA

Alternatívou steam reformingu je proces čiastočnej oxidácie schématicky zobrazená na obr. 2, pri ktorej sa využívajú metán, heavy fuel oil (ťažký vykurovací olej), uhlie, ale môžu byť použité aj iné suroviny. Čiastočná oxidácia je najlepšia metóda pri spracovaní uhlia a heavy fuel oil pre vznik vodíka. Uhoľvodíkové palivo je premenené na zmes vodíka, CO a CO₂ a ďalšie čiastočne oxidované zlúčeniny exotermickým procesom čiastočnej oxidácie. Výhodou

tejto metódy je silný exotermický charakter kyslíkových procesov, preto nie je potreba dodávať energiu s externého zdroja. V nekatalytickom procese čiastočnej oxidácie sa surovina splyňuje v prítomnosti kyslíka a prípadne pary pri tlaku 3 – 8 MPa pri teplote 1300 – 1500 °C, čo zapríčiňuje viac CO ako parná reformácia. V snahe urýchlenia reakcie a zníženie reakčnej teploty. V komerčnom prostredí sa využívajú katalyzátory [5,13].



Obr. 2 Výroba vodíka čiastočnou oxidáciou [5]

1.2.3 PYROLÝZA

Pyrolýza je tepelný rozklad za zvýšenej teploty, ktorý prebieha v nekyslíkových, alebo anaeróbných podmienkach s cieľom premeniť kvapalné uhľovodíky na vodík a iný uhľovodíkový prvok. Na degradáciu uhľovodíkov sa používa uhlie, a teplota pri ktorej sa vykonáva, závisí od uhlia, od 300 – 400 °C. Pyrolýza pre metán vyžaduje oveľa väčšiu teplotu až 1400 °C. Na zníženie teploty sa využívajú katalyzátory na báze prechodného kovu ako je Ni, Fe alebo Co [5].



1.3 VÝROBA VODÍKA Z OBNOVITELNÝCH ZDROJOV

1.3.1 VÝROBA VODÍKA Z BIOMASY.

Biomasa je výborný environmentálne priateľský zdroj suroviny, ktorý nahradzuje fosílnu palivá. Je tu niekoľko technických riešení ako možno postupovať pri výrobe energie z biomasy. Biomasa sa môže transformovať na teplo, elektrinu, pevné palivo (uhlie), kvapalné palivá (bionafta, metanol), a plynné palivá (vodík a syntetický plyn) pomocou procesov ako je splyňovanie, pyrolýza a štiepenie vody [5,13].

1.3.2 SPLYŇOVANIE BIOMASY

Je to proces, ktorý prebieha za vysokých teplôt nad (500 °C) bez priameho spaľovania. Biomasa reaguje s obmedzeným množstvom kyslíka, pary alebo vzduchu, následne z toho vznikajú plynné produkty ako vodík, oxid uhoľnatý, oxid uhličitý a metán [5,13].

Postup pri splyňovaní:

- Príprava suroviny: Biomasa sa vysuší a rozdrví na jemné častice.
- Splyňovanie: Zahrievanie biomasy v reaktore pri teplotách 500 – 900 °C a v prítomnosti obmedzeného kyslíka a pary.
- Water -gas shift reakcia: Oxid uhoľnatý (CO) reaguje s vodou, vzniká vodík (H₂) a oxid uhličitý (CO₂).



- Separácia a čistenie: Vodík sa oddelí od ostatných plynov pomocou membrán, adsorpcie alebo kryogénnej separácie

Výhodou tejto metódy je nízka uhlíková stopa, možnosť použitia rôznych druhov biomasy, výroba vysokokvalitného vodíka za prijateľnú cenu [5,13].

1.3.3 PYROLÝZA BIOMASY

Proces rozkladu biomasy pri vysokých teplotách 300- 700 °C bez prítomnosti kyslíka. Tento proces je podobný splyňovaniu, ale produkuje viac tuhých a kvapalných vedľajších produktov.

Postup pri pyrolýze biomasy:

- Ohrev biomasy bez prítomnosti kyslíka
- Produkcia plynných látok: Pyrolýzou vzniká vodík, oxid uhoľnatý, oxid uhličitý a uhľovodíkové plyny.
- Reformácia plynov: Uhľovodíkové zlúčeniny sú rozložené katalytickými procesmi, aby vznikol čistý vodík

Ako vedľajšie produkty vznikajú: Biochar (pevný zvyšok), bio-olej. Výhodou tohto výrobného procesu je nižšia spotreba kyslíka ako pri splyňovaní. Možnosť využitia a predania vedľajších produktov ktoré vznikajú pri tejto metóde [5,13].

1.3.4 VÝROBA VODÍKA Z PLASTOVÉHO ODPADU

Plastový odpad môže byť spracovaný na vodík technológiami splyňovania, pyrolýzy a elektrokatalýzy. Proces splyňovania a pyrolýzy už bol popísaný v predchádzajúcej časti podobne je to aj pri plastoch. V nasledujúcej časti bude popísaný postup elektrokatalýzy [5].

1.3.5 ELEKTROKATALYCKÁ OXIDÁCIA

Je proces pri ktorom sa elektrická energia využíva na rozklad látok, alebo chemikálií. Ide o pokročilú metódu, ktorá využíva špeciálne katalyzátory a elektródy na zvýšenie účinnosti výroby vodíka. Metóda využíva polyméry z plastového odpadu ako zdroj vodíka, kombinuje recykláciu odpadu s výrobou obnoviteľného paliva. Plastové polyméry sú vystavené elektrokatalytickému procesu, kedy sa dlhé molekulárne reťazce rozkladajú na menšie zlúčeniny [5].

Postup pri elektrokatalytickej oxidácii:

Anodická oxidácia: oxidácia plastov na anóde produkuje vodík H^+ , oxid uhličitý (CO_2) a ďalšie medziprodukty. Katodická redukcia: Vodík (H^+) uvoľnený na anóde je na katóde redukovaný na molekulárny vodík (H_2). Vodík generovaný na katóde sa zhromažďuje, čistí a stlačí [5].

Táto metóda môže zohrávať zásadnú úlohu pri recyklovaní plastov a produkcií čistého vodíka. Technológia kombinuje environmentálne výhody s efektívnou výrobou paliva a chemikálií. S postupným vývojom a lacnejšími katalyzátormi môže táto metóda zohrať zásadnú úlohu v udržateľnom hospodárení s plastovým odpadom a rozvoji vodíka do ďalších odvetví [5].

1.4 DISTRIBÚCIA A SKLADOVANIE VODÍKA

Jednou z hlavných nevýhod a dôvodom, prečo sa vodíku nedarí preraziť na trhu je jeho skladovanie a distribúcia. Počet plniacich staníc v Česku a na Slovensku je relatívne malý v porovnaní s čerpacími stanicami na iné palivá [15].

Vodík sa prepravuje v tlakových nádobách podobne ako zemný plyn. No to má značné nevýhody. Vodík sa musí stláčať na tlak 350 barov a len na toto stlačenie sa využije 20 % energie vodíka. Tieto tlakové nádoby sa potom prepravujú pomocou nákladných áut na príslušné miesta [15].

Ďalšou možnosťou ako skladovať vodík je premena skupenstva z plynného na kapalnú. To ale vyžaduje uchovanie vodíka v kryogénnych zásobníkoch pri teplote -253 °C . Pri tomto skvapalňovaní sa však spotrebuje až 40 % celkovej energie obsiahnutej v palivu [15].

Celkovo možno konštatovať, že skladovanie a distribúcia vodíka nie je veľmi rentabilná a je energeticky náročná. S nástupom pokročilých technológií a ich vývojom sa to však v blízkej budúcnosti môže zmeniť. Vodík ukladá približne 2,6 viac krát energie na jednotku hmotnosti ako benzín, ale na uloženie tejto energie potrebuje približne 4 krát väčší objem ako benzín [15].

1.4.1 SKLADOVANIE VODÍKA

Uskladňovanie vodíka na palube vozidla má 3 hlavné nevýhody: hmotnosť uskladňovacieho palivového systému, objemová veľkosť celého systému, rýchlosť a zložitosť tankovania vozidla. Vodík, je najmenší prvok na planéte, má nízku hustotu a s tým vznikajú problémy pri jeho manipulácii. [16]

Pri skladovaní vodíka však vznikajú komplikácie. Vodík má nízku mernú hmotnosť, jeho molekuly sú veľmi malé a pri skladovaní môžu prenikať cez stenu nádoby v ktorej je vodík skladovaný. Vodíkové molekuly tak ostávajú uväznené medzi materiálom a to spôsobuje koróziu nádoby. Tento efekt sa nazýva vodíková krehkosť a vodíková korózia. Vodíková korózia sa prejavuje nižšou pevnosťou materiálu [17].

Preto pri používaní vodíka vo vozidle musí byť buď stlačený pod tlakom, alebo skvapalnený, aby sa zabezpečilo dostatočnému dojazdu vozidla. Zvyšovaním tlaku sa zvyšuje hustota energie na objem udávaná v MJ/L, tak je možné nádobu zmeniť, ale hmotnosť nádoby sa však nezmenšuje. Vodík je kryogénny, a jeho bod varu je $-252,88\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kryogénne skladovanie vodíka znižuje hmotnosť, no vyžaduje veľké množstvo energie na jeho skvapalnenie. Tieto nádoby musia byť dobre zaizolované, aby nedochádzalo k úniku molekúl vodíka. V súčasnej dobe je vodík uskladnený v dvojvrstvových kryogenných nádržiach. Prvá vrstva je dokonale izolovaná a druhou vrstvou je vákuum [16].

V dnešnej dobe je bežné, že plynný vodík sa stláča na 700 barov. Veľa odborníkov tvrdí, že hlavnou prekážkou v ekonomike vodíka je potrebná energia na jeho stlačenie. V USA je vytvorených zatiaľ len 450 míľ potrubia na vodík v porovnaní s ropovodom 200 000 míľ a potrubím pre zemný plyn 1 300 000 míľ je to stále málo. Na prepravu skvapalneného vodíka sa využívajú hlavne dopravné lode a železničná doprava. Vodík vyžaduje veľké investície do infraštruktúry čo sa týka produkcie, distribúcie a skladovania [16].

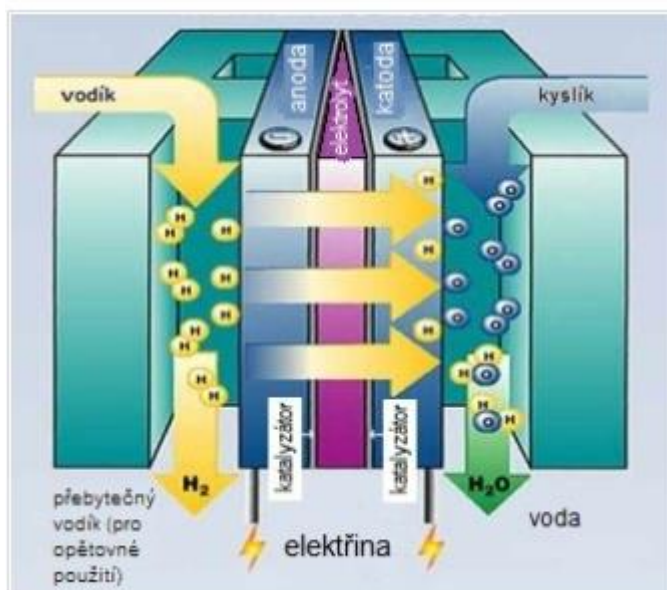
V Českej republike bola otvorená prvá čerpacia stanica v Neratoviciach. Je spojená so skúšobným autobusom, ktorý je poháňaný pomocou palivových článkov [17].

1.5 VODÍK V PALIVOVOM ČLÁNKU

V prípade využitia vodíka v palivovom článku, dochádza k reakcií vodíka a kyslíka za vzniku elektrickej energie, čistej vody a tepla. Následne sa táto energia využíva k pohonu elektromotora [18].

Hlavnou výhodou z pohľadu emisií pri používaní vodíka k pohonu palivového článku je jeho čistota. Jeho vedľajšími produktmi sú voda a teplo. Žiadne iné nebezpečné látky pri tomto procese nevznikajú [12].

Palivové články zobrazené na obr. 3 sú elektrochemické zariadenia, ktoré fungujú ako elektrolyza, len opačne. V palivovom článku sa nachádzajú 2 elektródy, ktoré sú oddelené elektrolytom. K anóde je privádzaný vodík a ku katóde kyslík. Katalyzátor, ktorý sa nachádza na anóde rozdeľuje vodík na kladné vodíkové ióny a elektróny. Ionizovaný kyslík migruje elektrolytom k anóde a tam sa následne zlučuje s vodíkom. Tento jav je popísaný na obrázku č.1. Z jedného palivového článku možno v záťaži získať od 0,6 – 0,8 V. Pre dosahovanie lepších výsledkov sa tieto články zapájajú do série. Maximálnu účinnosť ktorú možno dosiahnuť pomocou palivového článku v praxi je 40 – 60 % [19].



Obr. 3 Palivový článok [19]

1.6 VODÍK V SPAĽOVACEJ KOMORE

Vodík ako nosič energie má potenciálny význam v doprave. Motor na vodíkové palivo má potenciál sa stať udržateľne nízko emisný oproti ostatným motorom s vnútorným spaľovaním fosílnych palív. Ďalšou výhodou sú jeho vlastnosti, ktoré sa prejavujú pri spaľovaní a v jeho efektívnosti.

Na University of Gent prerobili GM/Crusader V8 SI (spark ignition – iskrou zapálené) engine na vodík a mal za úlohu poháňať autobus. Vstrekovací systém autobusu bol viacbodový. Cieľom bolo zameranie sa na špeciálne charakteristiky týkajúce sa vodíka ako paliva: zapalovacie vlastnosti vodíka (menšia medzera zapalovacej sviečky), vstrekovací tlak (závislosť od skladovania vodíka kvapalina, alebo plyn), kvality mazacieho oleja (vyskytovanie sa vodíka v kľukovej skrini), kyslíkové senzory (veľmi chudobné prevádzkové podmienky) [20].

V dieslovom motore bol prerobený vstrekováč na sviečku, ktorá má byť použitá na zapalovanie zmesi vzduchu s vodíkom. Meranie prebiehalo s karburátorom, ktorý umožňoval testovať vodík, zemný plyn a hythane (zmes vodíka a zemného plynu). Na získanie lepšej kontroly spaľovacieho procesu bol motor vybavený sekvenčným časovaním vstrekovania. Ten sa používa pri kvapalných palivách. Výhodou je riadenie vzduchu a paliva (ladenie bohatosti zmesi) na každý valec na konkrétnu hodnotu. Výhodou časovaného vstrekovania je v lepšej odolnosti voči back fire (zapálenie zmesi v sacom potrubí). Aby k tomuto nedochádzalo, tak testy ukázali, že bezpečná prevádzka motora je na lambda 2, to znamená, že motor ide na chudobnú zmes. Nevýhodou chudobnej zmesi je nízky výkon motora, ktorý sa následne prejaví [20].

V štúdií sa zaoberali vodíkovým motorom s vnútorným spaľovaním a pozorovali back fire (spätný zážlah). Na analýzu použili CFD simulácie, ktoré následne overili experimentom. Teplotu pozorovali od 800 K až do samotného back fire. Minimálna teplota, pri ktorej začal

vznikať back fire bolo teplota 950 K a viac. Výsledky z experimentu a simulácie vyšli podobne. Z tejto štúdie možno vyvodit' nasledovné závery: Pravdepodobnosť výskytu back fire sa zvyšuje s teplými miestami (hot spots). Vlastnosti back fire pri teplote 1000 K sa zhodujú experimentálne aj so simuláciami. Nameraný tlak pri back fire v sacom potrubí bol 3,75 baru a 2,42 baru. Miesto teplých miest nemá vplyv na charakteristiku back fire, ale má vplyv na načasovanie jeho vzniku (timing of its origin) [21].

V štúdií sa zaoberali taktiež prerobením motora na spaľovanie vodíka. Hlava mala plochú spaľovaciu komoru s dvoma zapalovacími sviečkami, kompresný pomer bol 14:1. Termálna účinnosť bola indikovaná 43% - 45% pri $\lambda = 2$. V článku sa uvádza, že dvojité spaľovanie (dve sviečky), alebo predkomorové zapalovanie zlepšuje stabilitu a výkon chudobného spaľovania [22].

Motory spaľujúce vodík majú vysokú účinnosť pri veľkom zaťažení a pri nízkom zaťažení je to presne naopak, tam je účinnosť nízka. Opačne to platí pre palivové články, kedy pri nízkej záťaži je účinnosť vysoká, ale pri vysokej záťaži je účinnosť nízka [17].

Priestor pre zástavbu motora je menší než v prípade použitia vodíkových palivových článkov. Avšak zástavbové rozmery palivových článkov sa dajú tvarovo ľahšie prispôsobiť [17].

Nevýhodou palivového článku je dlhá reakčná doba pri požiadavke veľkého nárastu výkonu. Pre vyplnenie tejto medzery sa používajú batérie, ktoré slúžia ako zdroj energie [17].

Pri spaľovaní vodíka vychádzame z rovnice spaľovania, v ktorej uvažujeme spaľovanie zmesi vodíka a vzduchu. Pri spaľovaní vodíka nemôžeme maximálne využiť jeho vlastnosti výhrevnosti pri zachovaní stechiometrického pomeru. Motor by síce podával vysoký výkon, s tým sú však spojené vysoké teploty behom procesu spaľovania, ktoré iniciujú tvorbu oxidu dusíka. Môže taktiež dochádzať k samozápalu a spätnému zášľahu. Taktiež pri vyššej koncentrácii vodíka môže dôjsť k preniknutiu vodíka do miest, kde sa môže začať usadzovať, nahromadí sa, vznieti a môže poškodiť motor [23,24].

Pre motory so spaľovaním vodíka je lepšie vstrekať palivo priamo do valca oproti vonkajšej tvorbe zmesi. Pri použití vonkajšej tvorby zmesi dochádza často k nežiaducim javom a nie je možné využiť veľmi chudobnú zmes paliva, pretože pri väčšej chudobnosti tu nastáva problém s jej zapálením. Pri vstrekaní paliva priamo do valca je možné dosiahnuť vrstvenie zmesi a tak sa dá využiť aj chudobná zmes. Ukázalo sa, že je vhodné vstrekať palivo až ku konci sacieho zdvihu a to preto, aby nedošlo k spätnému zášľahu do sacieho traktu [23,24].

Ak by došlo k vznieteniu zmesi pred zapálením sviečky, išlo by o predčasný zážih a to je spojené s vysokou rýchlosťou priebehu spaľovania [23,24].

2 HLAVY MOTOROV

Praktická časť diplomovej práce sa bude zaoberať úpravou hlavy valca, preto je potrebné si podrobne rozobrať základné komponenty z ktorých sa hlava skladá. Taktiež princípy, ktoré sú tu využívané napr. v oblasti sania, chladenia, miešania zmesi a plnenia valce.

Hlava valca je jednou s hlavných pevných nepohyblivých častí motora, ktorá uzatvára spolu s piestom spaľovací priestor. Súčasťou hlavy valca je spaľovací priestor, sacie a výfukové kanály, otvory pre šrouby na upevnenie k bloku motora, otvory pre zapalovaciu sviečku, vstrekač a ďalšie otvory pre chladenie a mazanie. Ďalšou súčasťou sú ventily a súčasti spojené s rozvodovým mechanizmom, ktoré majú za úlohu ovládať otváranie a zatváranie ventilov. Hlava je utesnená pomocou tesnenia, ktoré je navrhnuté tak, aby odolávalo vysokým tlakom a teplotám.

Úlohou hlavy s piestom je vytvorenie spaľovacieho priestoru a rýchlo odvádzať teplo, ktoré vzniká pri chode motora. Vďaka týmto vplyvom je hlava veľmi tepelne a mechanicky namáhaná. Najviac namáhané miesta sú hlavne oblasti sacieho a výfukového ventilu. Dochádza tu k ohrevu horúcim spalínami a následnému ochladzovaniu čerstvou zmesou. Hlava by mala byť navrhnutá z takých materiálov, ktoré sa vyznačujú vysokou pevnosťou a nízkou tepelnou rozťažnosťou [25].

Motory môžu byť chladené vzduchom, alebo chladiacou kvapalinou. Vzduchom chladené hlavy sa vyznačujú chladiacimi rebrami a hlavy sú zväčša vyrábané pre každý valec samostatne. Vyrábajú sa odlievaním, alebo z výkovku zo zliatin ľahkých kovov. Pre motory chladené kvapalinou je bežné, že hlava je koncipovaná pre všetky valce zároveň [25].

Chladiacu kvapalinu je nutné dopraviť do exponovaných miest a zaistiť prietok týmito miestami. V týchto miestach kvapalina dosahuje takmer teplotu varu, preto je nutné zaistiť neustálu cirkuláciu kvapaliny [25].

Na výrobu hlavy valca sa používajú hliníkové zliatiny, ktoré majú dobrú tepelnú vodivosť. Nevýhodou je vyššia tepelná rozťažnosť, preto je nutné použitie vkladných sediel ventilov, vodítkov ventilov a niekedy aj vložky so závitom pre zapalovacie sviečky [26,27].

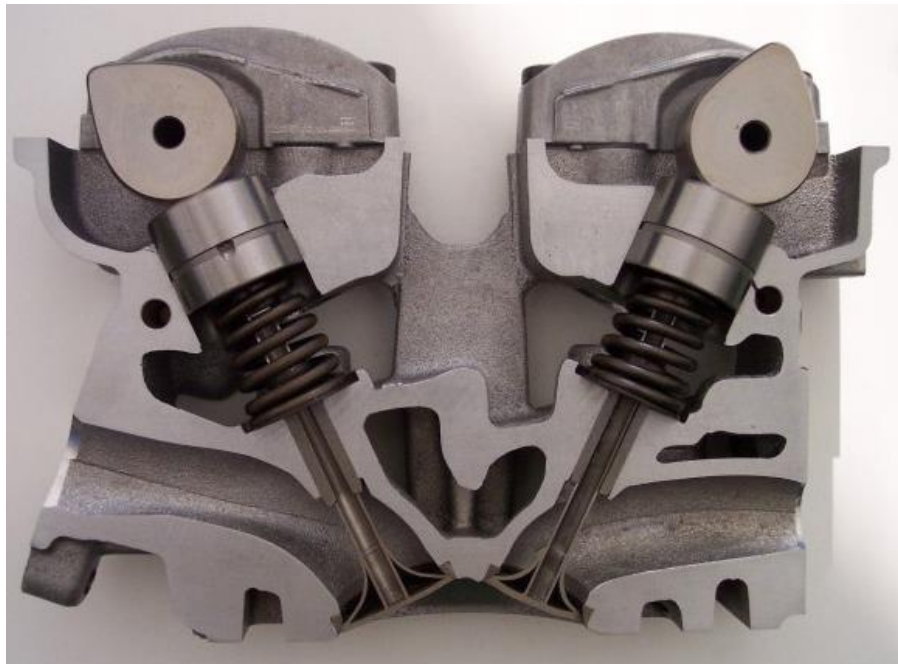
2.1 DVOJVENTILOVÁ HLAVA

Ide o jednoduchšiu časť s pohľadom vyrobiteľnosti a návrhu ktorá je zobrazená na obr. 4. Taktiež je jednoduchšie docieľiť vírivých účinkov či už tangenciálnych alebo šroubových. V prípade nevírových kanálov, alebo pri podobných vírových číslach sa pri štvorventilovej hlave dajú dosiahnuť lepšie hodnoty prietokových súčiniteľov vďaka väčšej relatívnej veľkosti kanálov a tak zaistenie menších hydraulických strát. Pre zaistenie dostatočného prietoku pre náplň valca je potrebné vyosenie spaľovacieho priestoru tak, aby umožňoval optimálne rozmiestnenie sacích a výfukových sediel. pre rozmiestnenie sacích a výfukových sediel a je ťažšie dosiahnuť optimálne spaľovanie. Dvojventilové hlavy sú zväčša aplikované pre motory s menšími požiadavkami na výkon motora. Pri nízko objemových motoroch je potreba zachovať dostatočnú hrúbku steny a preto sa pre tieto aplikácie využívajú dvojventilové hlavy [26,28].

2.2 ŠTVORVENTILOVÁ HLAVA

Je zložitejšia z hľadiska konštrukcie a následnej vyrobiteľnosti vďaka dvom sacím a dvom výfukovým kanálom a taktiež je zložitejšie vytvorenie dostatočného vírivého účinku. Kanály

sa navzájom pri plnení valca ovplyvňujú a je obtiažne ich namodelovať tak, aby spĺňali všetky požiadavky. Oproti dvojventilovým hlavám sú ventily menšie a umožňujú tak optimálny návrh spaľovacieho priestoru, ktorý môže byť umiestnený v osi valca. Výsledná hlava je kompaktnjšia a odolnejšia. Napriek nižšiemu prietokovému súčiniteľu aj tak je pri plnom otvorení ventilov o 20 % väčší prietok, čo predurčuje tento typ hlavy k hlavným výhodám a preto aj moderné hlavy motorov sú zväčša 4 ventilové. [26,28].

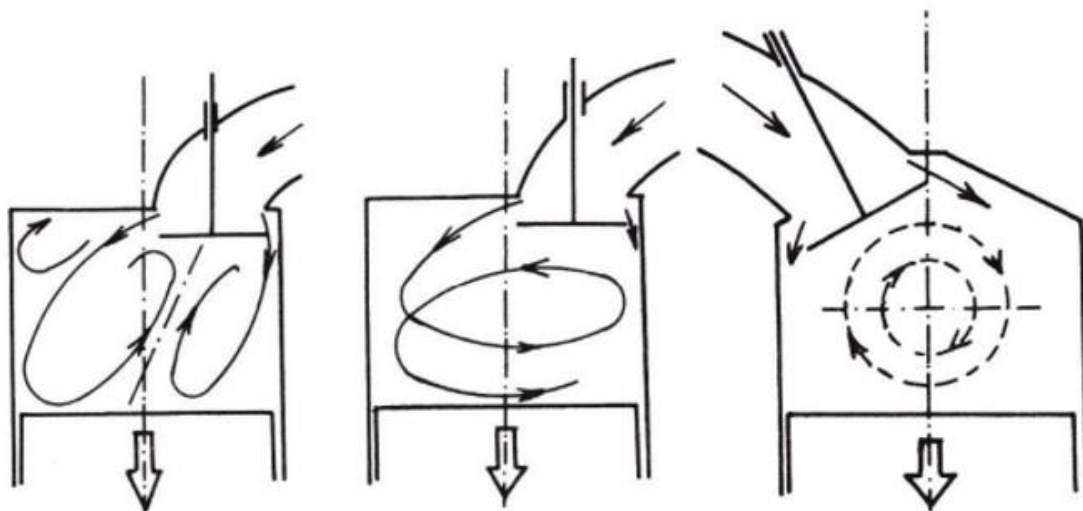


Obr. 4 Dvojventilová hlava [28]

2.3 MIEŠANIE ZMESI VO VALCI

Vtokový prúd

Tento prúd vzniká prirodzene bez špeciálne navrhnutých sacích kanálov zobrazené na obr. 5 Prúdové pole je tvarované okolo ventilu a rozširované do priestoru valca a vzniká prstencovitý vír. Tento vír je nestabilný a dochádza k rýchlemu rozpadu. Je nutné umiestniť sací ventil ku stene valca, čo sa prejaví sklonom roviny víru [28].



Obr. 5 Zobrazuje druhy prúdenia zmesi vo valci: Vtokový, Swirl, Tumble [28]

Tečná rotácia (Swirl)

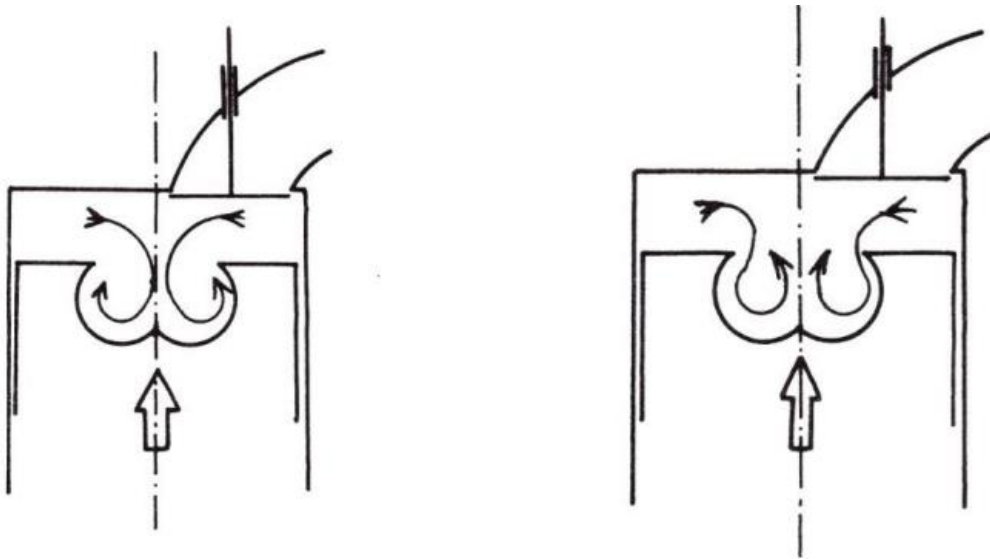
Táto tečná rotácia je zámerne vytvorená v priebehu plnenia valca, zobrazená v strede na obr. 5. Pre docelenie tohto víru je potrebné správne vytvarovanie sacieho kanála, tvar ventilu, sedla ventilu a v poslednom rade smer vtoku do spaľovacieho priestoru tak, aby sa vytvoril rotačný moment hybnosti okolo osy valca. Swirl ako jeden z vírov má menšiu viskóznú disipáciu ako Tumble preto vydrží dlhšie pri kompresnom zdvihu a preto sa v ňom zmes lepšie rozmieša. Často sa tento vír kombinuje s vírom Squish. To prispieva k požadovanému turbulentnému prúdeniu. Kombinácia týchto vírov má za následok zvýšenie intenzity Swirlu a vyššiu turbulenciu pri počiatkovej fáze spaľovania [28].

Tumble vír

Ide o valcový vír, ktorého os rotácie je kolmá na os valca, znázornený na obr. 5. Vír je citlivý na polohu a tvar sacích kanálov. Je vhodný pre použitie do zážihových motorov so spaľovacím priestorom v hlave valca. Vďaka tomu je v kompresnom zdvihu stabilnejší než swirl vír [28].

Radiálny vír (squish)

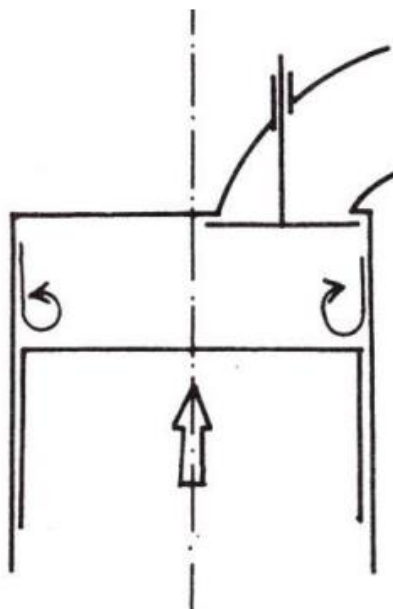
Častejšie sa vytvára pri motoroch so spaľovacím priestorom v pieste. Intenzita vírenia je závislá na tvare spaľovacieho priestoru. Vír vzniká hlavne na konci kompresného zdvihu vytlačovaním náplne od stien valca do spaľovacieho priestoru čo možno pozorovať na obr. 6 [28].



Obr. 6 Radiálny vír pri kompresnom zdvihu [28]

Kútový vír

Vzniká na stene valca zbalením medznej vrstvy zobrazený na . Je spôsobený nedokonalým utesnením piestu, (piestnych krúžkov). V tesniacom zámku dochádza k prieniku plynu do kľukovej skrine a časť plynu sa vracia do spaľovacieho priestoru. Pri motoroch s priamym vstrekom do valca vznikajú strhávaním vzduchu vstrekanými lúčmi paliva [28].



Obr. 7 Kútový vír [28]

2.4 SACIE A VÝFUKOVÉ KANÁLY

Priamy kanál

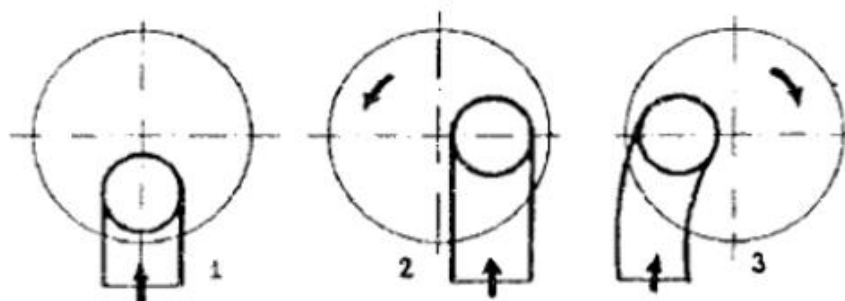
Ide o kanál bez akýchkoľvek úprav zobrazený na obr. 8. Môže byť v dvoch polohách. Nevírivé a vírivé. Najjednoduchšie umiestnenie je nevírivé, kedy os kanálu aj ventilu sa nachádza v rovine s osou valca. Volíme ho, ak chceme doceliť najväčšie naplnenie valca [28].

Tangenciálny kanál

Kanál je zobrazený na obr. 8. Rotácia je vyvodená výstupným impulzom, ktorý vzniká pri výtoku po obvode prietochného prierezu medzi sedlom a ventilom. Vírový účinok dosahuje výraznejšie hodnoty až pri väčšom zdvihu ventilov, kedy dochádza k vyšším prietochným rýchlostiam a odtrhávaniu prúdu. Tangenciálne kanály sú náchylné na presné odliatie, preto je častý vysoký rozptyl prietokových a vírových vlastností. Častý je aj výskyt hysteréznej slučky hlavne v priebehu vírového čísla [28].

Šroubový kanál

Náročnejší na výrobu, jeho tvar je na obr. 8. Musí byť tvarovaný tak, aby v ňom došlo k rotačnému impulzu. Ten pokračuje do valca, kde sa prejavuje tečná zložka na obvode náplne. Vďaka rotačnému impulzu v kanáli dochádza k rotácii vo valci už pri malých zdvihoch ventilov. Celkovo je schopnosť vyvodiť rotačnú energiu vyššia, ale za cenu nižšieho naplnenia valca [28].



Obr. 8 typy kanálov: 1.Piamy 2.Tangenciálny 3. Šroubový [28].

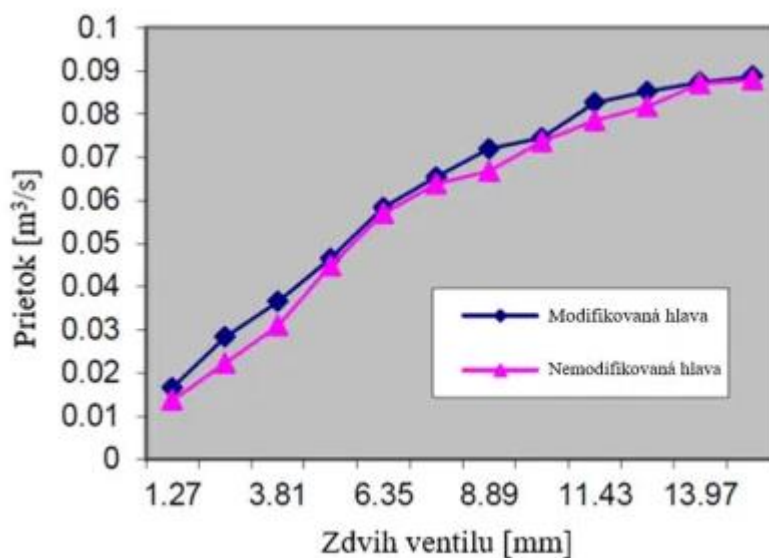
Jedna z dôležitých charakteristík na valcovej hlave je, ako zmes vzduchu a paliva dopraviť do spaľovacej komory. Preto je dôležité správne namodelovanie sacieho a výfukového kanálu. Podľa zámeru miešania paliva so vzduchom sa využívajú rôzne tvary kanálov [29].

V štúdiu [29] testovali upravenú a neupravenú valcovú hlavu. Z výsledkov vyplýva, že upravená valcová hlava by mala vykazovať lepšie vlastnosti motora. Simulácie boli spracované v programe G PASS. Štúdia mala za úlohu nielen vytvárať (vymodelovať) sacie a výfukové kanály, aby do valca prúdilo čo najviac zmesi, ale mala zabezpečiť aj kvalitu zmesi [29].

Kvapky paliva, ktoré nebudú dobre rozriedené so vzduchom (nebudú homogénne), nebudú dobre horieť. To bude prispievať k strate výkonu a zvýšeniu emisií motora. Využitie príliš

veľkého swirl prúdenia, môže spôsobiť, že sa palivo dostane na stenu valca a prenikne pomedzi krúžky do olejovej nádoby [29].

Výsledky sa následne overili na *flow bench* (prístroj na meranie prietoku). Základná hlava mala sací kanál o objeme 63,2 cm³ a upravená hlava mala sací kanál zmenšený na objem 55 cm³. Na nasledujúcom grafe môžeme vidieť porovnanie sacích kanálov pri upravenej a neupravenej hlave. Na osi X je výška zdvihu ventilov v mm a na Y osi je prietok vzduchu v m³/s. Z obr. 9 vyplýva, že takto upravená hlava by mala mať lepší prietok vzduchu v oblasti zdvihu ventilov do 5 mm a následne od 8 mm do 14 mm. Z grafu možno konštatovať, že upravené sacie kanály vykazujú lepšie prietokové vlastnosti počas celého zdvihu ventilov [29].

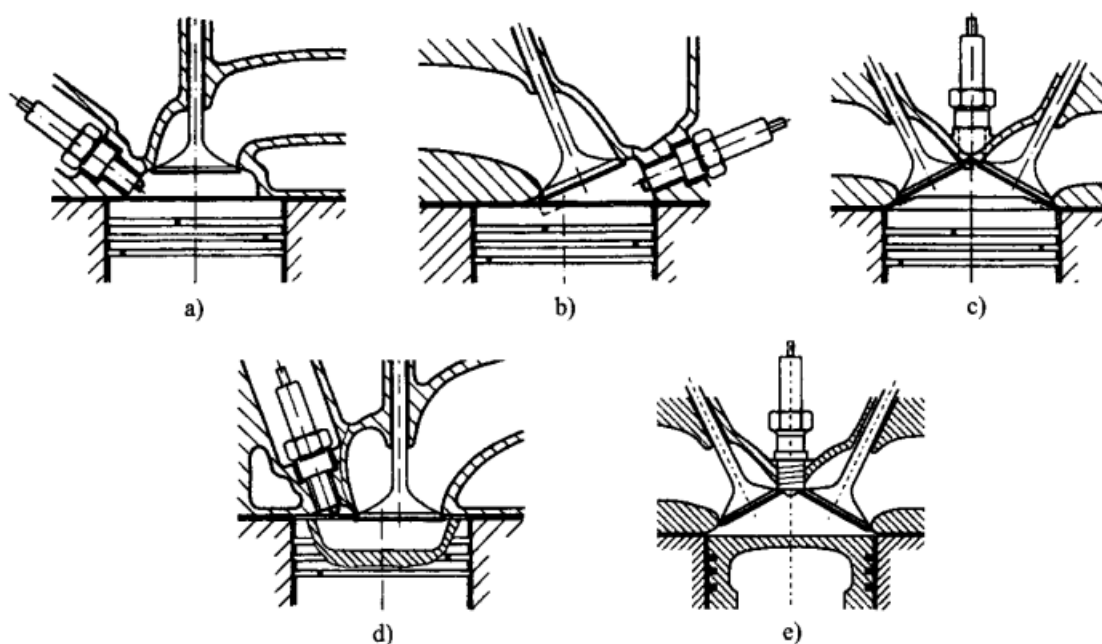


Obr. 9 Graf závislosti zdvihu ventilu na Prietoku pre modifikovanú a nemodifikovanú hlavu [29]

2.5 SPALOVACÍ PRIESTOR, UMIESTNENIE SVIEČKY

Tvar spaľovacieho priestoru hrá zásadnú úlohu pri návrhu zapalovacej sviečky a jej umiestnení. Taktiež má veľký vplyv na priebeh spaľovania. Tento priestor má zaistiť dobré naplnenie valca a vypláchnutie ostatných spalín a ideálne spáliť celú zmes, aby neunikali do výfukového potrubia nežiadúce látky. Ďalej využiť čo najviac tepla k práci, odolávať detonácií a snaha o dosiahnutie čo najväčšieho kompresného pomeru. Na nasledujúcom obr. 10 sú vykreslené rôzne typy týchto priestorov. Každý z nich má určité výhody, ale aj nevýhody [27].

Sviečka sa umiestňuje podľa spaľovacieho priestoru. Všeobecne sa volí tak, aby zapalovacie elektródy sviečky neboli v mieste najväčšieho prúdenia rozvírenej zmesi paliva so vzduchom. Ideálne je priblíženie sa ku stredu spaľovaciemu priestoru. Sviečka má ideálne byť v mieste s najteplejším miestom (ventil výfukového kanálu), aby sa nezhorená zmes dostávala do studených miest [27].



Obr. 10 Rôzne druhy spaľovacích priestorov [27]

2.6 CHLADENIE HLAVY

Chladienie slúži na odvedenie tepla zo stien valcov, hlavy a ostatných častí motora do okolitého prostredia. Pri prevádzke motora je dôležité, aby sa udržiavala určitá teplota motora. Je dôležité sa pohybovať v prevádzkovej teplote, aby nedošlo k poškodeniu častí motora. Hliníkové zliatiny majú odolnosť do 200 °C. Po prekročení tejto teploty môže dochádzať k trvalým deformáciám, alebo prasknutiu hlavy. Pri zážihových motoroch chladienie znižuje samovznietenie zmesi od teplých miest v spaľovacom priestore, ktoré sú hlavne v oblasti koruny piestu a tanierov ventilu. Životnosť motorového oleja je závislá od teploty motora. Pri vysokých teplotách môže dochádzať ku karbonizácii oleja, zníženiu viskozity oleja. Maximálna teplota pre oleje sa udáva 220 °C a pre moderné syntetické oleje je to 270 °C. Asi 30 % tepla z celkovej energie sa odvádza chladiením. A len 21 % sa využije na pohon kľukového hriadeľa [30].

Chladienie delíme podľa tepelného toku na priame, alebo nepriame. Podľa druhu chladiaceho média na olejové, vzduchové, alebo kvapalinové.

2.6.1 PRIAME CHLADENIE

Teploto je odvádzané priamo do okolitého prostredia vďaka priamemu kontaktu rebier so vzduchom. Chladienie môže byť náporové, alebo nútené. Nútené využíva ventilátor, aby sa zabezpečil prívod vzduchu na teplé miesta v motorovom priestore. Náporové chladienie sa využíva pri motocykloch, kedy sa motor chladí priamo pri pohybe motocykla. Výhodou vzduchom chladených motorov je hlavne malá hmotnosť, rýchle ohriatie na prevádzkovú teplotu. Nevýhodou je chladienie kritických miest v hlave motora, kolísanie teplôt pri zmene prevádzkového režimu a vyššia hlučnosť. Motory sa zvyknú prehrievať pri malej rýchlosti

vozidla alebo pri jazde v kolóne. Priame chladenie sa využíva v motocykloch, kosačkách, generátoroch, alebo malých lodných motoroch [30].

2.6.2 NEPRIAME CHLADENIE

Teplo z hlavy valca je odvádzané pomocou teplotnosného média prúdiaceho v uzavretom okruhu. Chladiaca kvapalina vstupuje do chladiča a odtiaľ je následne teplo odvádzané do atmosféry. Chladiacou kvapalinou býva nemrznúca zmes, ktorá je zložená s destilovanej vody a etylénglykolu v pomere 1:1. Do zmesi sa pridávajú aditíva, ktoré majú za úlohu znižovať koróziu, stabilizovať tvrdosť a zabraňovať peneniu. Výhodou vodou chladených hláv je nižší tepelný gradient a dochádza k menšiemu únavovému namáhaniu materiálu. Stredná teplota horúcich dielov je nižšia ako u hláv chladených vzduchom. Vďaka tomu je možné použiť horší materiál a zlepšenie plnenia valca čerstvou zmesou. Motor chladený kvapalinou je menej hlučný, lebo médium slúži ako izolácia proti zvuku. Nevýhodou je konštrukčná náročnosť hlavy a bloku motora, použitie chladiča a väčšia hmotnosť. Kvapalina by sa mala pravidelne meniť z dôvodu vyčerpania inhibítorov. Inhibítory chránia kovové časti pred koróziou a degradáciou [30].

3 TATRA T3X-928

Motor tatra T3D – 928 zobrazený na obr. 11 bol navrhnutý na špeciálne účely, vojenské (obrnené transportéry), hasičské a ťažké nákladné vozidlá. Tatra 928 je vzduchom chladený naftový motor s priamym vstrekováním paliva s objemom 12,7 l. Ide o motor s 8 valcami, ktorých usporiadanie je do V. Zdvih je 140 mm a vrtanie 120 mm. Motor môže byť plnený atmosféricky, alebo preplňovaný turbodmychadlom a spolu s chladičom je umiestnený priamo nad motorom. Motor sa označuje ako nadštorcový, pomalobežný, tak ako je to bežné pri vznetrových motoroch. Kľuková hriadeľ je zošroubovaná z jednotlivých segmentov čo tento motor robí unikátnym. Motor prešiel radou úprav podľa špecifikácií, ktoré vychádzajú z európskych noriem ako je Euro 2 (T3B-928), Euro 3 (T3C-928), Euro 4 a Euro 5 (T3D-928). Pre normu Euro 4 a 5 je využitý systém selektívnej katalytickej redukcie SCR, kedy je do výfuku vstrekané oxidačné činidlo s názvom AdBlue. Motory sú dodávané v rôznych výkonnostných spektrách v rozsahu 230 – 325 kW a krútiacom momente od 1400 – 2100 Nm. Mazanie motora je pomocou zubového čerpadla. Olej je následne chladený v trubkovom chladiči [34].

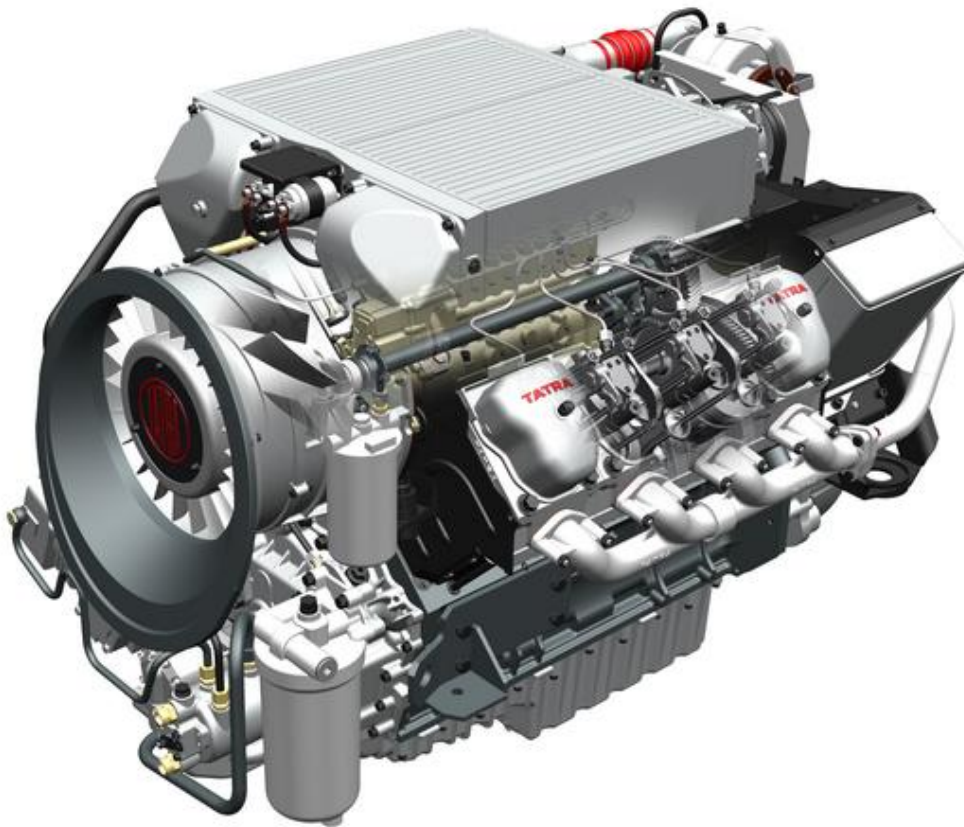
Kompresný pomer pri priamom vstrekaní je 16,5: 1. Piest je upravený a má na dne prstencové vybranie. Tento vysoký kompresný pomer má negatívny vplyv na mechanickú účinnosť. Vďaka priamemu vstrekovaniu je chod motora tvrdý, pretože dochádza k väčšiemu maximálnemu tlaku v spaľovacom priestore. Kompenzácia prebieha pomocou cetanového čísla v naftě. Priame vstrekovanie prispieva k lepšej mernej spotrebe paliva, k menším hydraulickým a tepelným stratám. Celková účinnosť je o 5 % vyššia než v prípade vznetrových motorov s vírovou, alebo tlakovou komôrkou. [34,35].

3.1 HLAVA MOTORA TATRA

Hlava je chladená nútene pomocou lopatkového ventilátora. Hlava valca je vybavená rebrovaním, ktoré zvyšuje povrchovú plochu pre lepší odvod tepla. Je vyrobená z hliníkovej zliatiny, ktorá má dobrú tepelnú vodivosť. Je upevnená k bloku motora pomocou štyroch šroubov, ktoré zabezpečujú tesné spojenie a stabilitu pri vysokých tlakoch [34,35].

Hlava má 2 ventily jeden sací, druhý výfukový, čo má za následok menšiu plniacu účinnosť oproti 4 ventilovým hlavám. Ventily sú ovládané pomocou rozvodu OHV (Overhead valve). Váčkový hriadeľ je umiestnený v bloku motora. Ventily sú ovládané vahadlami, ktoré sú ovládané cez rozvodové tyčky a zdvihátka pomocou váčkového hriadeľa [34,35].

V motoroch Tatra je olej do hlavy privádzaný pomocou čerpadla cez zdvíhacie tyčky a kanáliky vo vahadlách do klzných ložísk vahadiel. Funkcia oleja v tejto oblasti je primárne na mazanie, každopádne olej vyteká z klzných ložísk a slúži taktiež k chladeniu hlavy.



Obr. 11 Motor Tatra T3x-928

3.2 LETECKÁ HLAVA

Keďže ide o motor, ktorého objem je 12,7 l, pri návrhu novej hlavy je vhodné sa pozrieť do histórie do obdobia 2. svetovej vojny, kde sa práve veľkoobjemové motory využívali. Práve v letectve môžeme pozorovať mnoho zážihových motorov s veľkým objemom. V praktickej časti sa jednou leteckou hlavou budem inšpirovať, ktorá bola zaobstaraná Ústavom automobilového a dopravného inžinierstva. Hlava je vyfotografovaná na obr. 12. Hlava bola následne na dielne rozrezaná a je vyfotografovaná na obr. 13.

Hlava má 2 kanály jeden sací (väčší) z prednej časti, druhý výfukový (menší) zo zadnej časti. Rozvod leteckej hlavy je OHV podobný hlave tatra, až na zmenu v oblasti ventilov, tie sú mierne natočené. Spaľovací priestor je guľovitého tvaru. Zapálenie zmesi zabezpečujú 2 sviečky, ktoré sú umiestnené v pravej a ľavej časti, vedľa ventilov. Hlava je priamo vzduchom chladená. Vstrekovanie je nepriame, čiže do sacieho kanála v hlave už prúdi namiešaná zmes paliva so vzduchom.

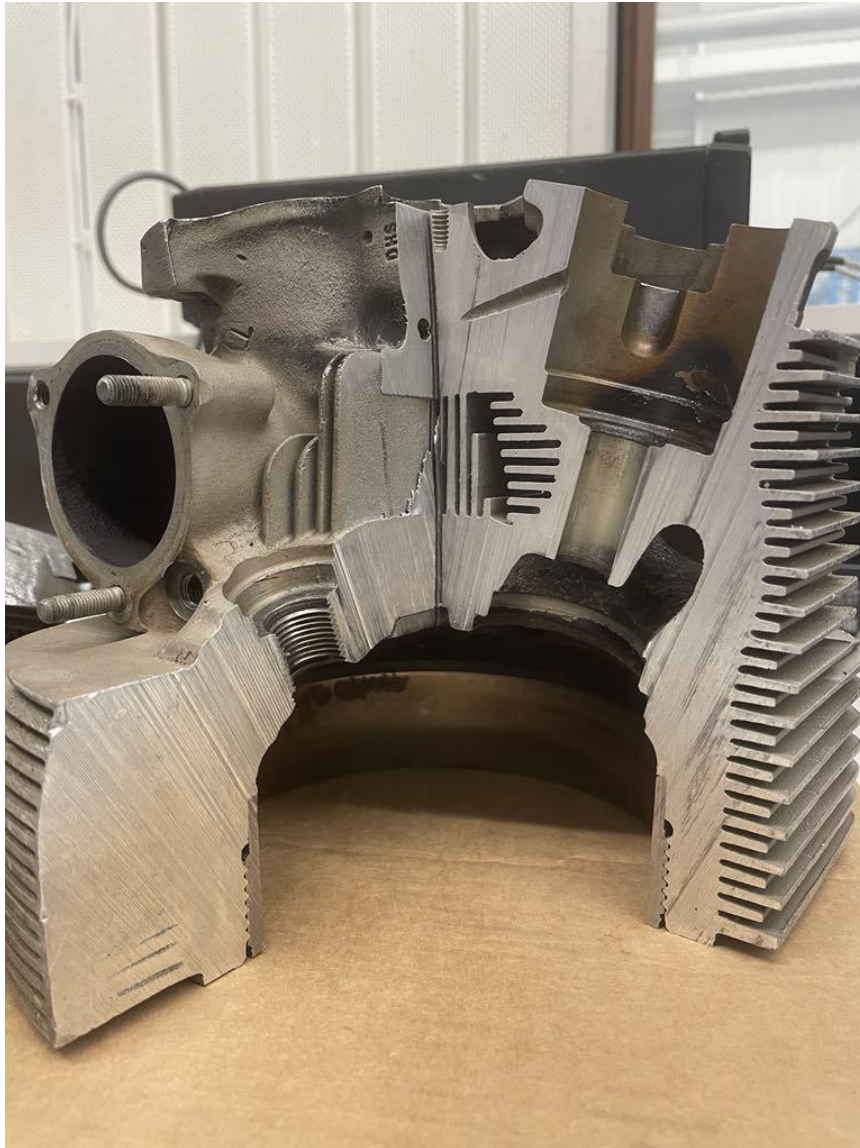
Vzduchom chladená hlava má na povrchu rebrá, ktoré napomáhajú chladeniu, zväčšujú plochu pre prechod tepla do okolitého prostredia. Je dôležité zaistiť rovnomerné rozloženie teplôt okolo obvodu hlavy a taktiež zabezpečiť dostatočné chladenie kritických miest v oblasti výfukových ventilov a sviečok. Tvar rebrovania z hľadiska účinnosti a jednoduchej výroby je najlepší

lichobežníkový. Nadmerné predlžovanie rebier nie je potrebné. Pri nadmernom predĺžení nie je už povrch využitý a okraje na konci bývajú studené a tým sa znižuje ich účinnosť [36].

Nevýhodou vzduchom chladených hláv je možnosť vznikania väčších teplotných gradientov. Tie následne môžu spôsobiť pružné deformácie, preto je potrebné na to dbať a z hľadiska bezpečnosti musia byť použité väčšie prevádzkové vôle. Najväčšie teplo vzniká a prenáša sa v oblasti sedla ventilov. Preto je vhodné vytvoriť medzi výfukovými kanálmi chladiace rebrá [36].



Obr. 12 Hlava leteckého motora



Obr. 13 Rez hlavou leteckého motora

4 PRAKTICKÁ ČASŤ

Po spracovaní rešeršnej časti a následnej konzultácií s vedúcim práce bolo rozhodnuté, že najvhodnejším riešením úpravy bude hlava s dvoma ventilmi a dvoma zapalovacími sviečkami podobne ako pri leteckej hlave. Použitie dvoch sviečok má viaceré výhody, ako je efektívnejšie zapálenie zmesi, zníženie emisií a zároveň prispieva k zvýšeniu výkonu a celkovej účinnosti motora [37].

Prvotne sme uvažovali o koncepte hlavy, ktorá by bola chladená kvapalinou, no nakoniec sme s vedúcim práce sme došli k záveru, že aby bola zachovaná pôvodná koncepcia motora Tatra, tak koncept hlavy bude vzduchom priamo chladený. Rozmery vrtania a rozteč šroubov sa plánujú zachovať, aby teoreticky bolo možné namontovať hlavu valca na pôvodný blok motora. Pri koncepte s kvapalinou chladenou hlavou by bolo nutné pustiť sa aj do úpravy valca a bloku motora. V tom prípade by nedávalo zmysel použiť hlavu Tatra, ale rozhliadnuť sa po iných konceptoch, ktoré majú toto prevedenie, ako napríklad modely značky Deutz BF8M1015CP a Deutz TCD2015, ktorý je chladený kvapalinou [38].

Podstatnou zmenou je spôsob vstrekovania paliva z priameho na nepriame. Z dôvodu umiestnenia dvoch sviečok a celkovej zástavby hlavy motora je nutné prejsť na vstrekovanie nepriame, pri ktorom sa palivo dávkuje do sacieho potrubia.

3D model hlavy valca bude vytvorený v softwéri Creo-Pro/ENGINEER. Postupné kroky, pomocou ktorých sa bude modelovať geometria:

- Vytvorenie pracovných osí a rovín
- Vytvorenie spaľovacieho priestoru
- Vytvorenie sacích a výfukových kanálov
- Modelovanie otvorov pre hlavové šrouby, ventily
- Rozmiestenie otvorov pre sviečky
- Úprava dna hlavy
- Vytvorenie otvorov a závitov pre sviečky
- Vytvorenie vodítok ventilov
- Vytvorenie nálitku na vahadla a zdvihátka
- Vytvorenie rebrovania
- Zaoblenie potrebných hrán modelu

4.1 KONCEPT Č.1

Prvý návrh hlavy bude vychádzať s pôvodnej hlavy Tatra, rez hlavou je na obr. 16 s malou úpravou. Upravená bude časť v oblasti vstrekovateľa, ktorá bude nahradená zapalovacou sviečkou.

Keďže chceme, aby išlo o ekonomickú variantu s možnosťou výroby z pôvodnej hlavy motora je nutné pri modelovaní len odobrať materiál a nepridávať.

S vedúcim práce sme sa rozhodli pre zvolenie sviečky od značky NGK zobrazenej na obr. 15. Táto sviečka je originálny komponent určený pre vozidlá poháňané na zemný plyn (CNG), konkrétne pre modely ako sú IVECO Stralis, alebo motor CURSOR 13 CNG. Posuvným meradlom ktorý je na obr. 14 bol zmeraný rozmer kľúču, ktorý sa používa na montáž a

demontáž sviečok. Parametri sviečky sú M12 x 1,25, dĺžka závitů je 25 mm. Z týchto hodnôt sa bude vychádzať pri modelovaní [39].

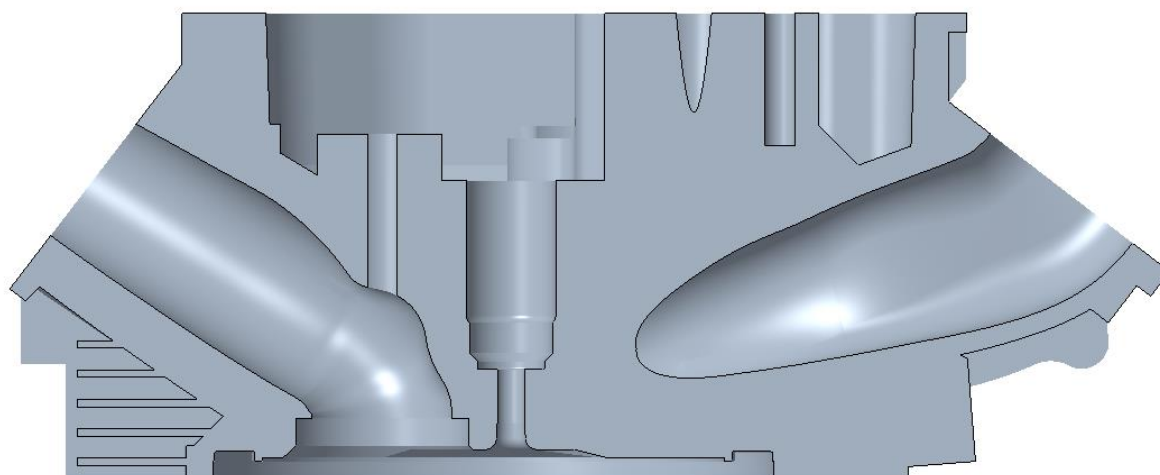
Otvor , ktorý pôvodne slúžil na vstrekovač, sa odfrézuje a tak sa vytvorí otvor pre sviečku. Keďže priestor v tejto oblasti je dostatočne veľký, tak zahĺbenie na kľúč bolo zvolené na priemer 27 mm, aby sa tam kľúč na sviečku zmestil a bol tam dostatočný manipulačný priestor. Závit na sviečku bol navrhnutý na M12 x 1,25 dĺžka závitů tu nemôže byť ako sme predpokladali 25 mm, preto je nutné zvoliť inú sviečku s kratším závitom ako 25 mm, alebo druhým riešením by bolo vloženie podložky pod sviečku. Zapaľovacie káble od sviečky by boli vedené cez veko hlavy valca. Rez upravenou hlavou je na obr. 17.



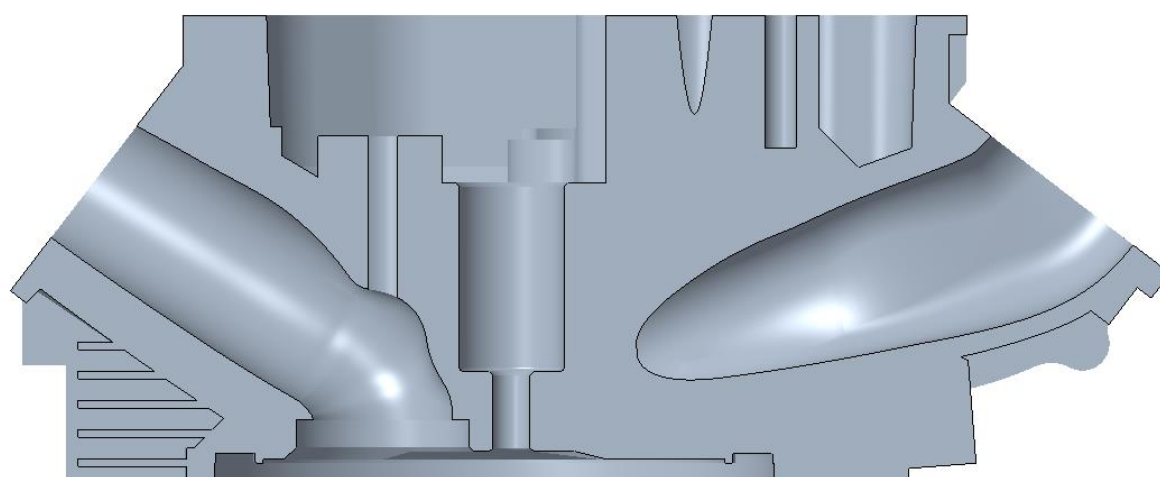
Obr. 14 Meranie rozmeru sviečky posuvným meradlom



Obr. 15 Sviečka NGK [39]



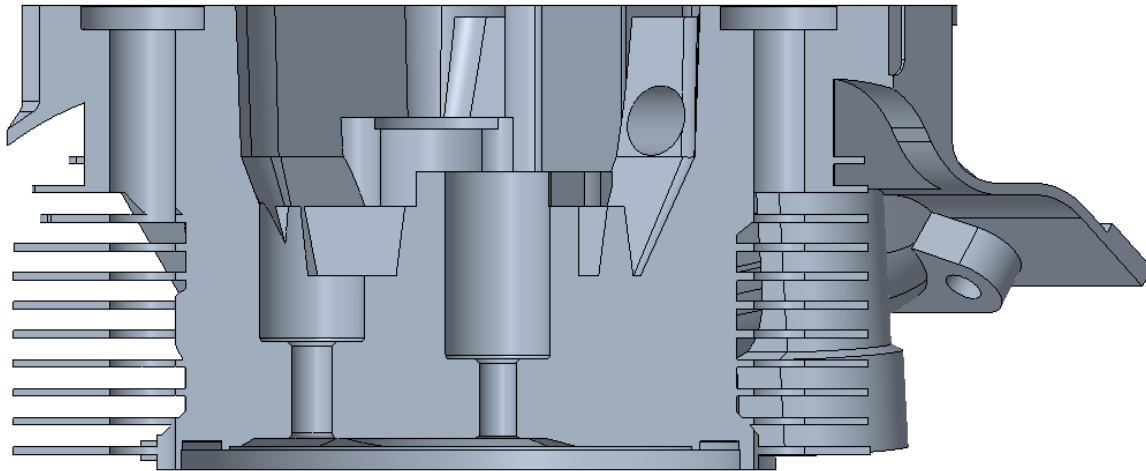
Obr. 16 Rez pôvodnou hlavou



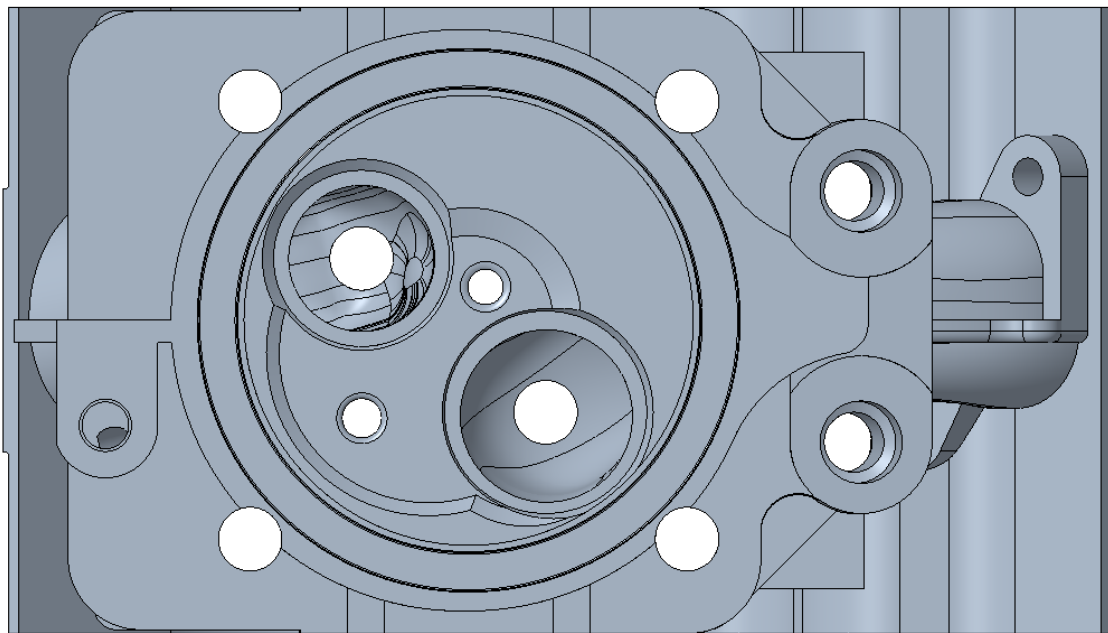
Obr. 17 Rez upravenou hlavou pre sviečku

4.2 KONCEPT Č.2

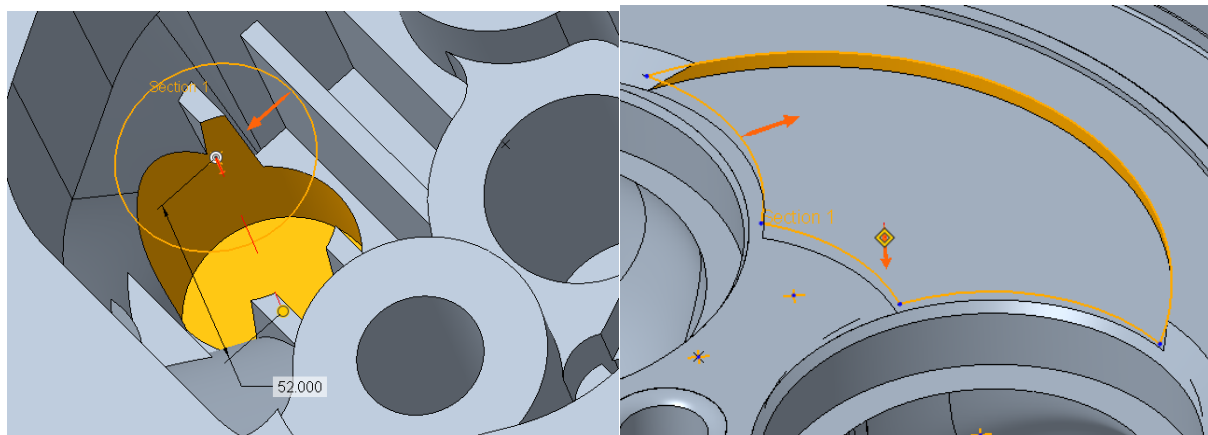
Podobne ako pri koncepte č.1 sa vychádza z pôvodnej hlavy Tatra. Zmena však nastane v počte zapalovacích sviečok. Aby dochádzalo k dostatočnému zapáleniu zmesi je nutné, aby hlava obsahovala dve sviečky. Tieto sviečky sú umiestnené hlboko v hlave valca. V ich okolí je vysoká teplota a je potrebné prebytočné teplo odvádzať preč z týchto miest. Taktiež je nutné odvádzať teplo z oblasti sediel ventilov. Tieto miesta sa chladia pomocou oleja, ktorý je privádzaný do hlavy motora. Druhá sviečka bude umiestnená do rohu tak, aby bolo možné pomocou odfrézovania vytvoriť otvor a závit pre sviečku. Rez sviečkami je zobrazený na obr. 18. Zo spodnej časti v oblasti sviečky, bude materiál taktiež odobraný. Odobranie je znázornené na obr. 20. Dno hlavy valca je zobrazené na obr. 19



Obr. 18 Rovina rezu prechádzajúca oboma sviečkami



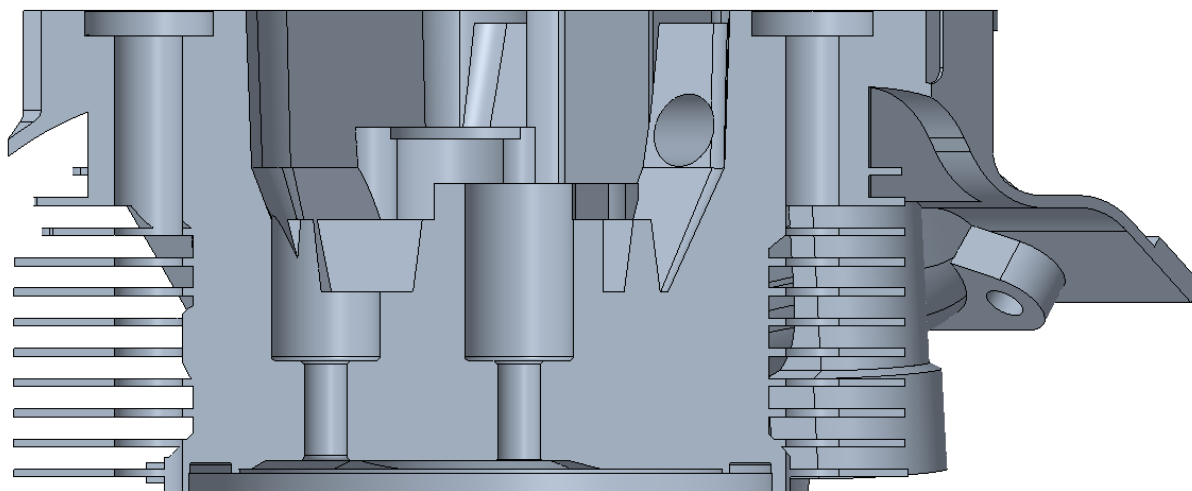
Obr. 19 Dno hlavy válca



Obr. 20 Odobranie materiálu pre druhú sviečku

4.3 KONCEPT Č. 2.1

Ak by sme chceli, aby boli sviečky rovnaké, musel by sa proces výroby trochu líšiť. Zmena by musela nastať pri vytváraní miesta na vstrekovač. Pravdepodobne toto miesto bude odliate plné a až následne by sa tu vytvoril otvor a závit pre sviečku. Hlavný rozdiel, je v tom, že ide o verziu, kde zmena nastane pri výrobe, kdežto v predchádzajúcich verziách išlo o prerobenie už existujúcej hlavy Tatry, ktorá bola sériovo vyrobená. Model je znázornený na

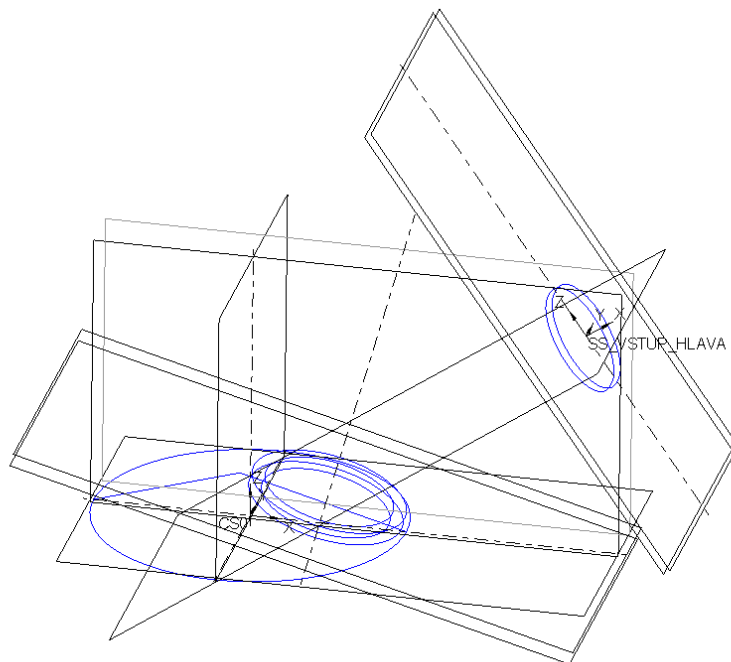


Obr. 21 Rez hlavou valca s rovnakými sviečkami

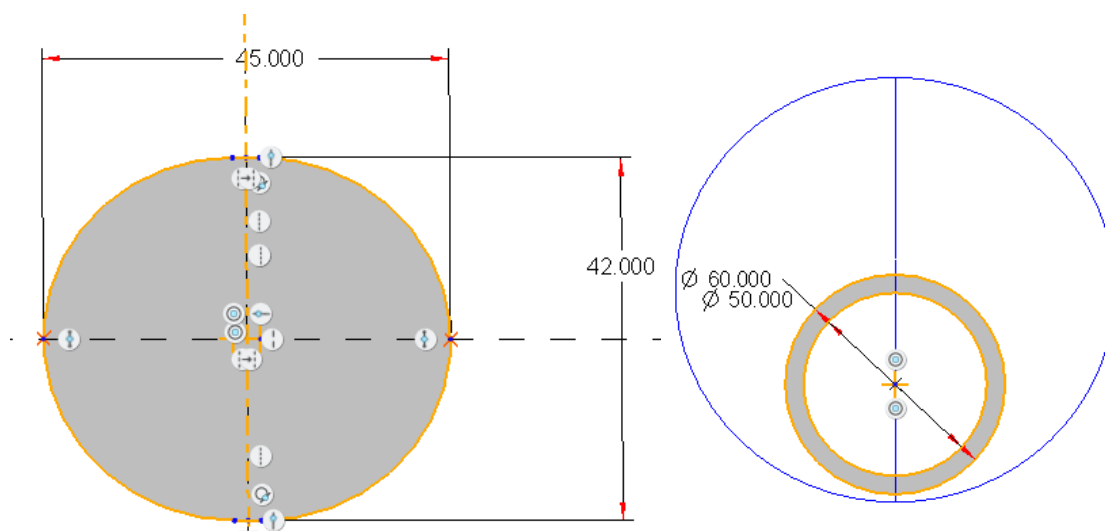
4.4 KONCEPT Č.3

Počítačové modelovanie v Creu začalo vytvorením pracovných rovín a zdefinovaním lokálneho súradnicového systému SS_VSTUP_HLAVA, ktorý bude slúžiť ako vstup sacieho potrubia do valca.

Následne bol vytvorený spaľovací priestor, teda jeho počiatkový návrh, ktorý sa následne bude upravovať, ale ako počiatkový náčrt je postačujúci. Spaľovací priestor bol namodelovaný ako nesymetrický, aby sacie potrubie malo väčší priemer, ale to spôsobilo nutné zmenšenie zase výfukového kanálu, ktorý bude neskôr modelovaný. Nesymetrický spaľovací priestor je vyosený o 4 mm a uhol ktorý zvierá z pravej časti teda sacej časti je 15 stupňov. Na Obr. 22 je znázornený spaľovací priestor s referenčnými rovinami a náčrtmi

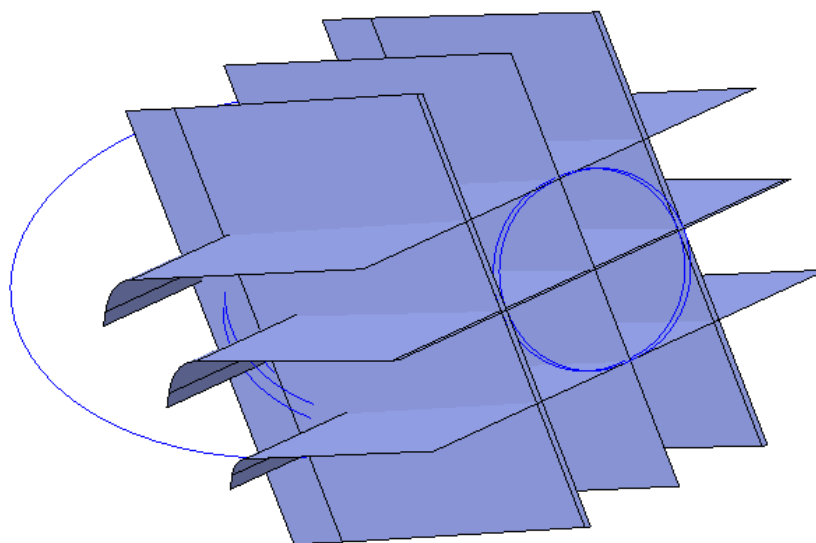


Obr. 22 Znáozornenie počiatkového spaľovacieho priestoru s referenčnými rovinami



Obr. 23 Náčrt vstupu do sacieho kanála a uloženia sediel ventilov

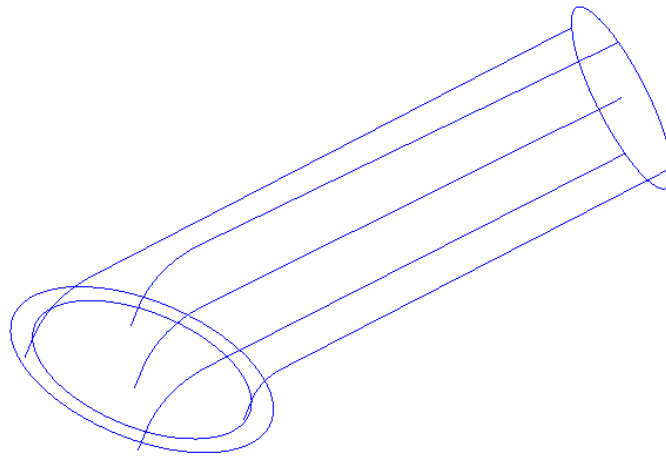
Počiatkový náčrt uloženia sedla ventilov je zobrazený na obr. 23 s priemerom 50 na 60 mm. Na ďalšom snímku je vykreslený vstup do sacieho kanála s návrhovými rozmermi 42 mm a 45 mm. Následne prebiehalo definovanie sacieho kanála pomocou povrchov. Vytvorili sa 3 vrstvy vo vodorovnom smere a 3 vrstvy vo svislom smere, ktoré sú na obr. 24.



Obr. 24 Obrázok znázorňujúci povrchy.

Teraz je dôležité získať obrysové krivky kanála. Na to slúži funkcia Intersect pomocou ktorej sa vyberú dve plochy a v ich priesečníku sa vytvorí obrysová krivka. Tieto krivky sú vykreslené na Obr. 25. Pokračovalo to vytvorením pracovných rovín, ktoré prechádzajú sacím kanálom a poslúžia pre ďalšie modelovanie. V priesečníkoch rovín s krivkami sa vytvoria body, ktoré budú slúžiť na definovanie kanála. Na prvý pohľad toto modelovanie môže vyzerat' ako náročné a zbytočne zdĺhavé, ale v rámci budúcich úprav sacieho a výfukového kanálu je výhodné. Kanál by sa dal namodelovať aj jednoduchšie, pomocou funkcie Sweep, ak by sa nakreslila

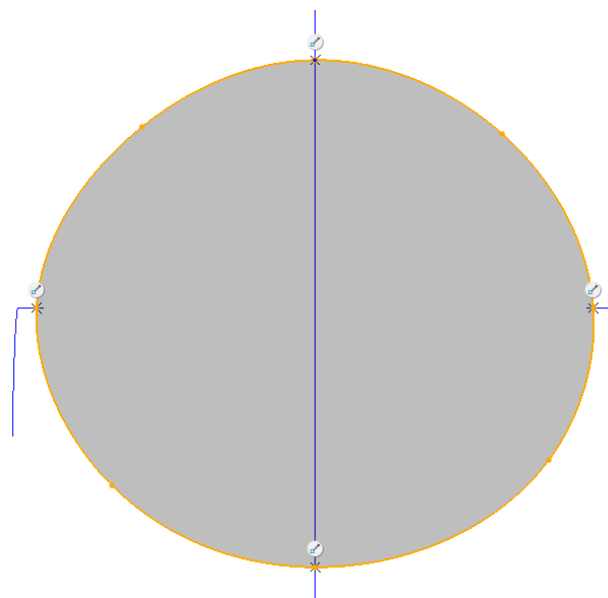
trajektória po ktorej sa kanál bude ťahať. Následne sa nakreslí profil, ktorý má byť ťahaný pomocou tejto funkcie.



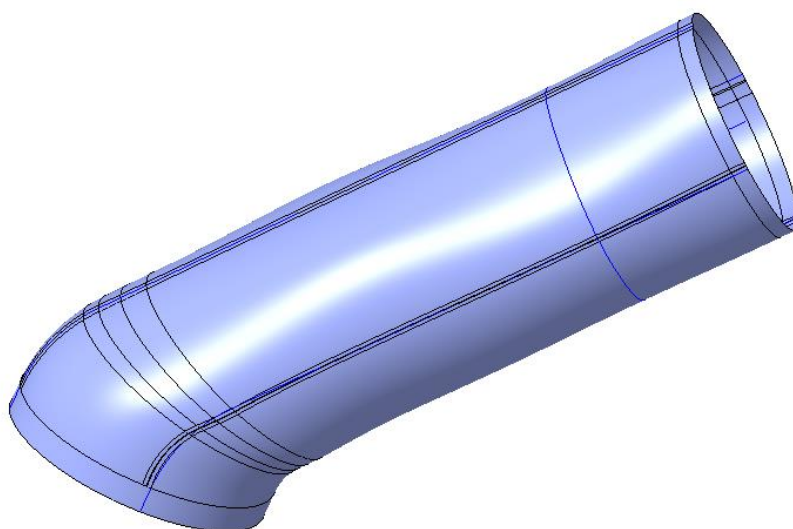
Obr. 25 Známenenie obrysových kriviek

Teraz bude nasledovať modelovanie čiastočných rezov kanálu pomocou funkcie spline. Splina bude definovaná predchádzajúcimi bodmi.

Na Obr. 26 je vyobrazená splina, ktorá prechádza jednotlivými bodmi, tak ako bolo spomínané. Tieto body je možné podľa potreby okótovať. Po vytvorení čiastočných rezov sa využije funkcia Boundary Blend, ktorá slúži na vytvorenie obvodovej plochy. Touto funkciou sa pospájajú všetky predošlé časti a vytvorí sa tak sací kanál. Na obr. 27 už môžete vidieť namodelovaný priamy sací kanál. Plochy však ešte nie sú uzavreté. Nasledovať bude uzavretie plôch v oblasti sedla a vstupu a nakoniec sa vytvorí z uzavretých plôch objemové teleso. Je nutné podotknúť, že takto vytvorený model je stále veľmi zjednodušený o množstvo prvkov, ako sú napr. skutočný tvar sedla ventilov, otvor pre vstrekovač a otvor pre ventily.

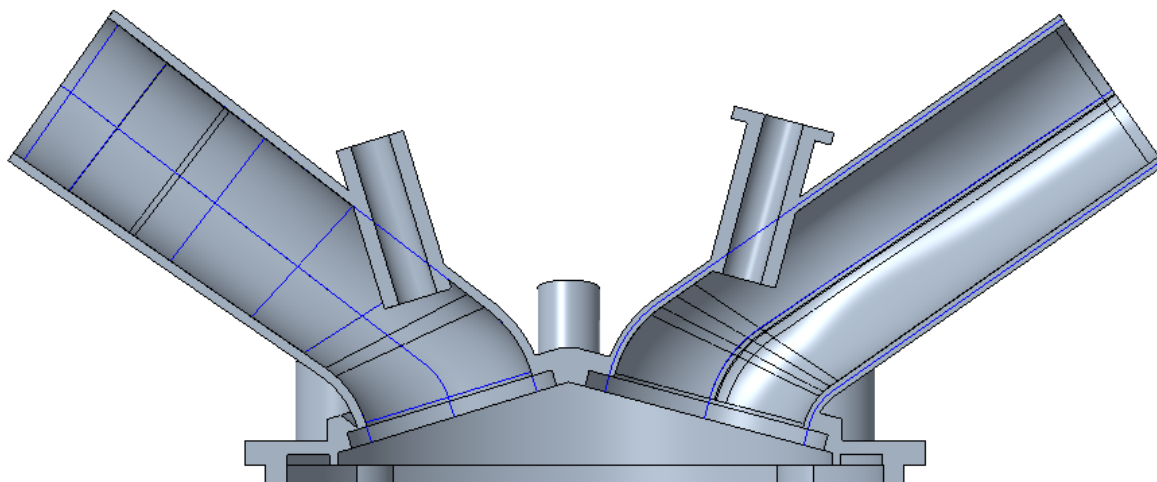


Obr. 26 Zobrazenie spliny prechádzajúcej jednotlivými bodmi



Obr. 27 Vymodelovaný priamy sací kanál

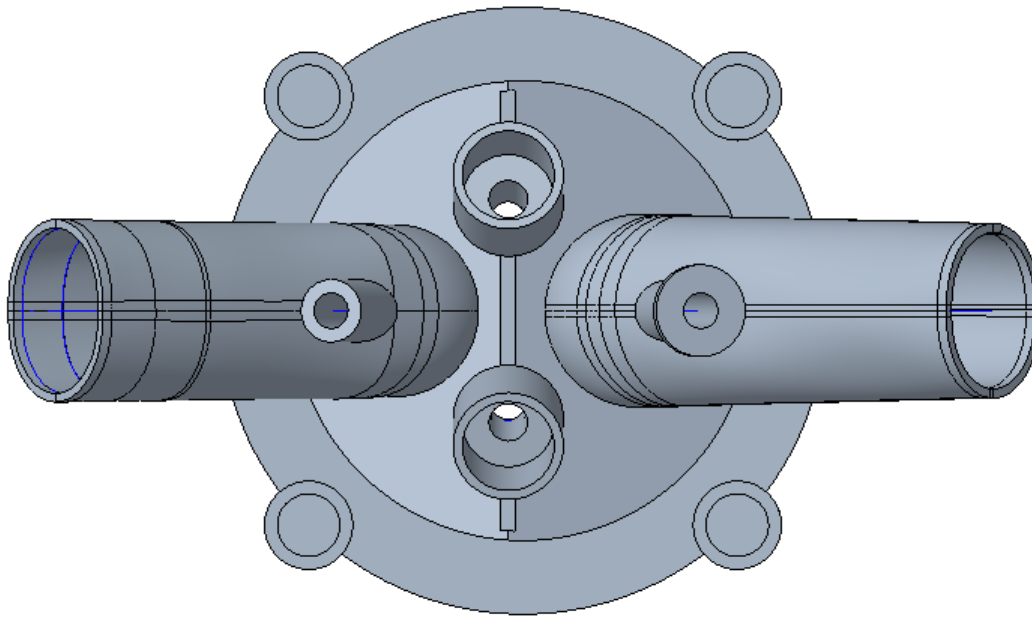
Pokračovať sa bude výfukovým kanálom, ktorý bude obdobne modelovaný, preto tieto kroky v modelovaní už nebudem popisovať. Kanálom sa následne pridala hrúbka pomocou Thicken a boli pridané otvory pre ventily a nálitky na umiestnenie zapalovacích sviečok.



Obr. 28 Rez prechádzajúci vodítkami ventilov a kanálmi

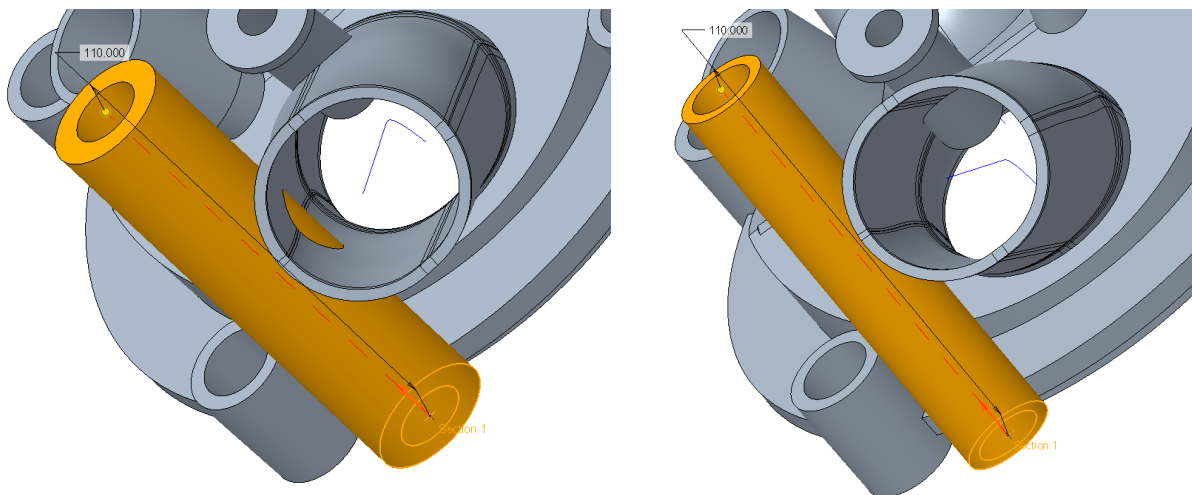
Na tomto Obr. 28 môžeme vidieť rez spaľovacím priestorom, kanálmi a vodítkami ventilov. V oblasti sedla ventilov môžeme vidieť tenkú vrstvu materiálu. Preto je nutné v tejto oblasti zvýšiť hrúbku materiálu a dodať tomuto miestu pevnosť.

Na obrázku obr. 29 sú vymodelované oblasti pre umiestnenie sviečok spolu zo závitmi.



Obr. 29 Pohľad z hora na hlavu valca

Pre zachovanie ventilového rozvodu a tyčiek zdvihátka je nutné zachovanie polohy a rozmerov vedenia týchto vodítok. Tieto rozmery boli na začiatku zmerané a následne sa mohlo ďalej pokračovať v modelovaní. V oblasti vedenia tyčiek zdvihátka nastala kolízia so sacím kanálom, ktorá je na obr. 30. Preto je nutné zvážiť, ako sa bude postupovať ďalej. Riešením bolo zmenšenie vonkajšieho priemeru nálitku na zdvihacie tyčky. Tým sa vyriešila problémová oblasť a nálitok nezasahoval do sacieho kanála. Symetricky bol namodelovaný nálitok aj na druhej strane vedľa sacieho kanála.



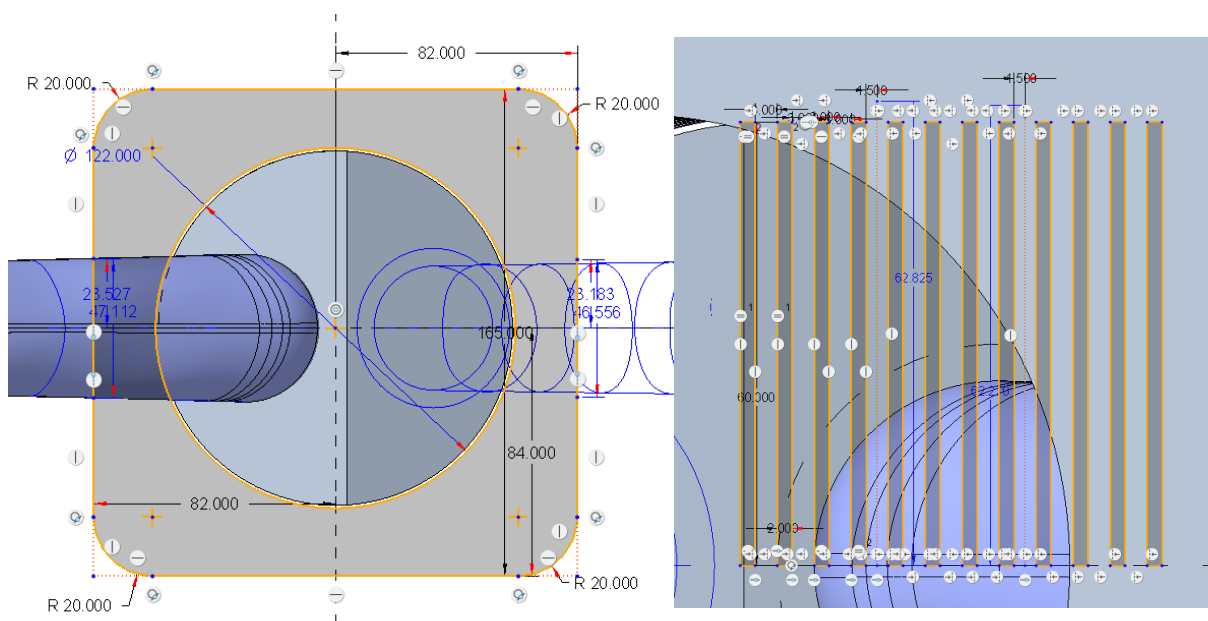
Obr. 30 Riešenie problémovej oblasti sacieho kanála

Nasleduje modelovanie odliatku, na ktorom bude umiestnený vahadlový mechanizmus. Vzhľadom na to, že vodítka ventilov sú umiestnené úplne ináč ako pri pôvodnej koncepcii, hlavy Tatra, vahadlový mechanizmus by musel byť pozmenený, tým sa však táto práca nebude zaoberať. Nálitok na vahadlo však svojimi rozmermi, aj dierami ostáva zachovaný.

Pri tvorbe dosadacej plochy pre veko, je nutné dbať na zástavbové rozmery ventilov tyčiek a vahadla, preto je nutné uvažovať s určitou rezervou pre umiestnenie týchto komponentov.

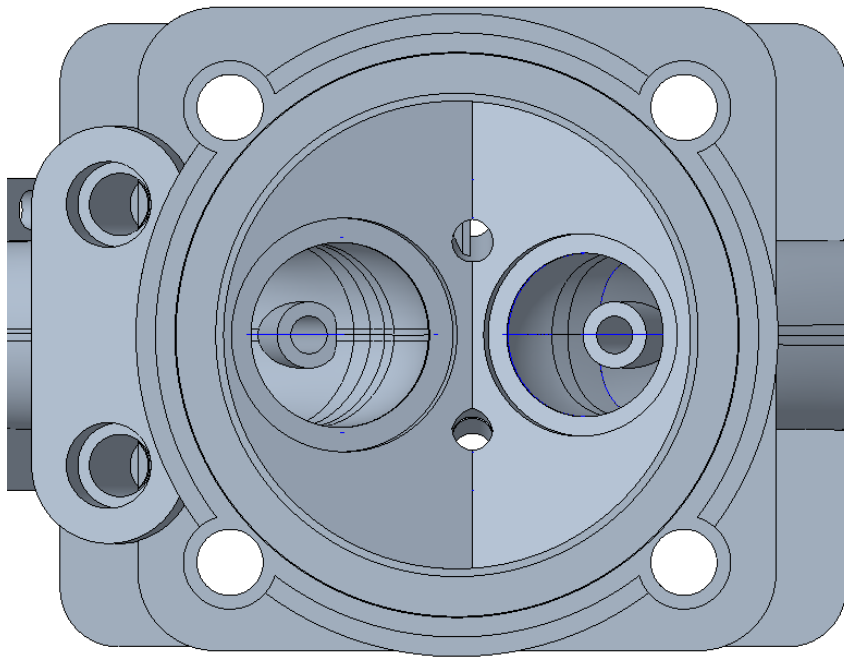
Dôležitou súčasťou, keďže ide o vzduchom chladený motor, je rebrovanie, ktoré slúži na zvýšenie plochy pre odvod tepla z motora do okolitého vzduchu. Motory, ktoré nie sú chladené kvapalinou, tak musia efektívne využívať prúdenie vzduchu. Rebrá majú taktiež udržiavať optimálnu pracovnú teplotu motora. Rebrá sú zvyčajne vyrobené z hliníka, ktorý má vysokú tepelnú vodivosť. Tvar býva navrhnutý tak, aby maximalizovali kontakt so vzduchom a optimalizovali chladenie.

Na obr. 31 je znázornený počiatočný návrh rebrovania, ktorý bol ďalej podľa príkazu Pattern znásobený a tak vzniklo viac rebier naraz nad sebou. Vytváranie rebier prebiehalo ďalej aj v oblasti sediel ventilov, kde vznikajú vysoké teploty a je nutné odvádzať teplo z týchto kritických miest obr. 31.



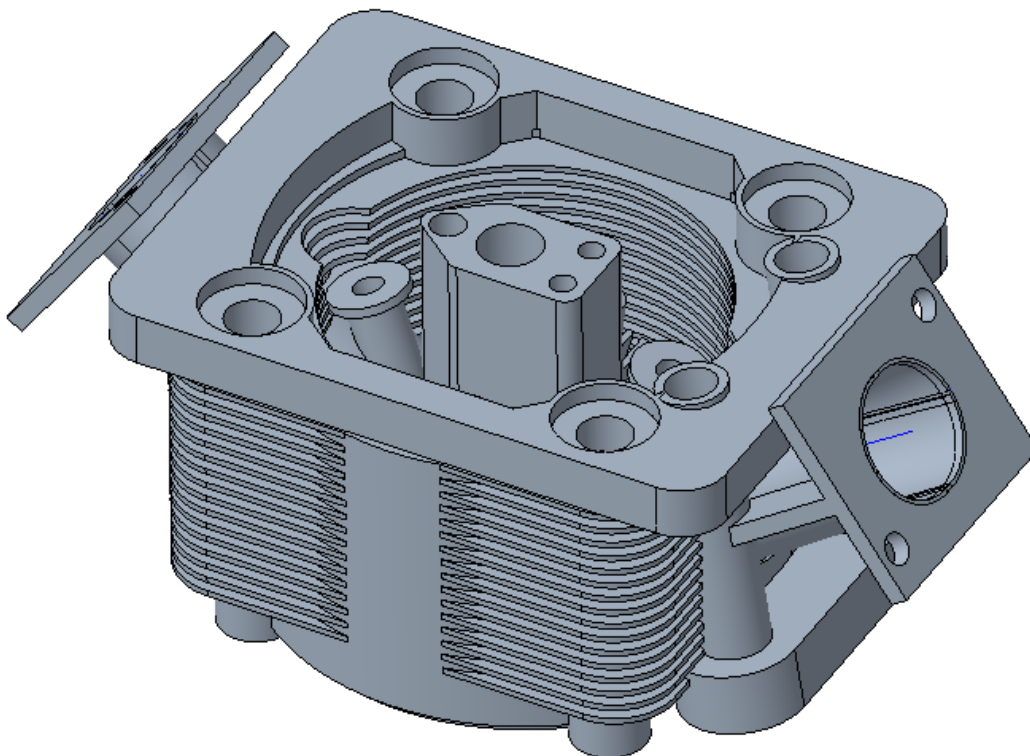
Obr. 31 Náčrty s počiatočným rebrovaním

Snahou je zachovanie dna valca, preto som sa ho snažil zachovať identické ako u originálnej hlavy Tatra, z dôvodu zachovania rozmerov vrtania a hlavových šroubov a celkovej koncepcie úpravy hlavy Tatra. Dno je zobrazené na obrázku obr. 32.



Obr. 32 Pohľad na dno hlavy valca

Nakoniec nasledovalo vytvorenie vrchnej hlavovej časti na ktorú bude dosadať veko. V tejto časti budú otvory a zahĺbenia na šrouby, ktoré slúžia na dotiahnutie víka s hlavou. Ďalej sa domodelovali príruby na sací a výfukový kanál. Tento model je zobrazený



Obr. 33 Výsledný model konceptu

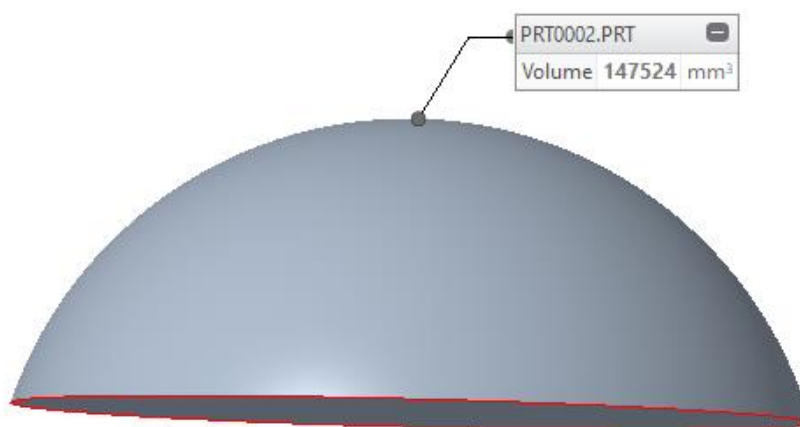
4.5 KONCEPT Č.3.1

Po diskusií s vedúcim sme sa rozhodli, že tento počiatkový návrh vylepšíme, a to tak, že strechovitý spaľovací priestor sa prerobí na guľovitý, upravia sa kanály, a snaha bude o zlepšenie chladenia sviečky a oblasti sediel ventilov. Vychádzať sa bude so spomínaného leteckého motora. Na rozdiel od modelu originálnej hlavy Tatra, kde sa miesta v hlave chladili olejom, tu bude snaha o maximálne využitie prúdu vzduchu na chladenie kritických miest.

Ak budem vychádzať v tejto literatúry od Heywooda [40], tak v kapitole 8 a 9 sa popisuje čo, má vplyv na tvar spaľovacej komory [40]. Na základe toho som zvolil polomer pre guľový spaľovací priestor priemer 112 mm, ako počiatkový návrh, ktorý môže byť neskôr upravený. Keďže valec má priemer 120 mm, tak sa tam zachovala aj takzvaná antidetonačná štrbina. Táto štrbina má slúžiť na zvyšovanie turbulentnosti a potlačenie vzniku nežiaducich detonácií. Taktiež má zabezpečovať spoľahlivú prevádzku pri vysokovýkonných motoroch.

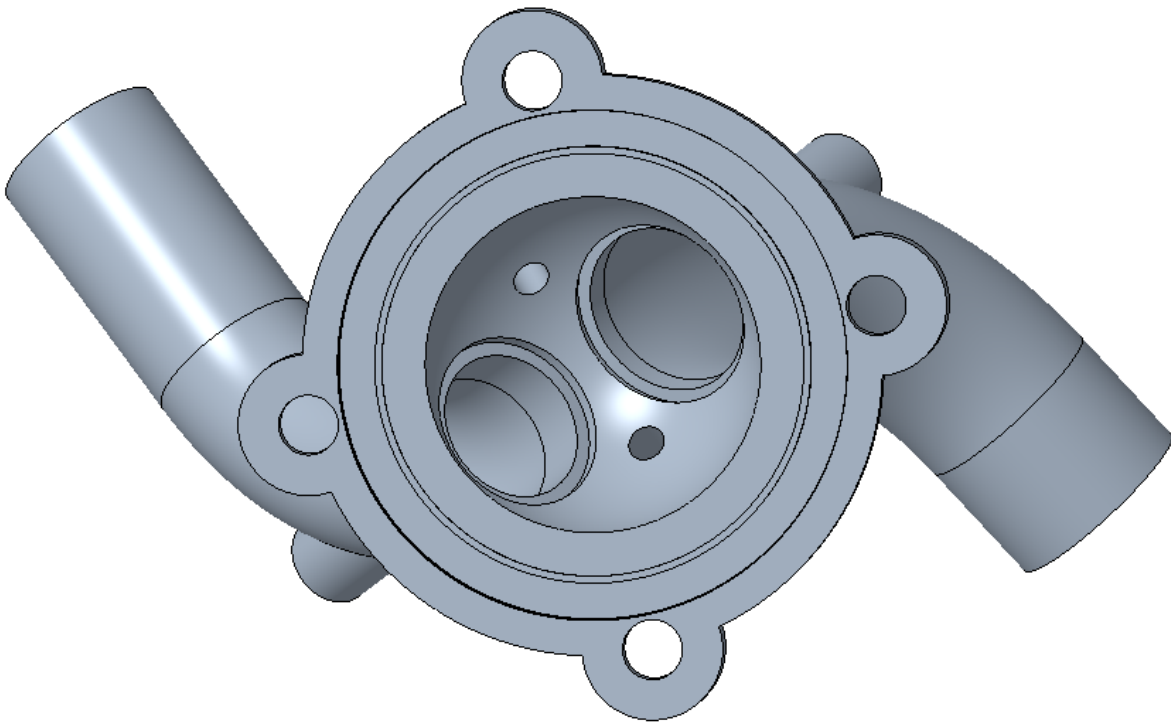
Pre tento model sa bude uvažovať ako počiatkový návrh kompresný pomer medzi 10 – 12:1. Sériové vŕtanie Tatra je 120 mm a zdvih je 140 mm.

Pracovný objem jedného valca je $1\,583\text{ cm}^3$. Po niekoľkých iteráciách sa dospelo ku kompresnému objemu $147,52\text{ cm}^3$, ktorý je znázornený na obr. 34. Z toho sa dopočítal kompresný pomer 11,73:1. Pri výpočte kompresného pomeru som neuvažoval antidetonačnú štrbinu, ktorá by vo výpočte mala byť tiež zohľadnená, ale predpokladajme, že piest je jemne vypuklý. Takže výpočet to veľmi neovplyvní a možno konštatovať, že výpočet kompresného pomeru je relatívne presný.

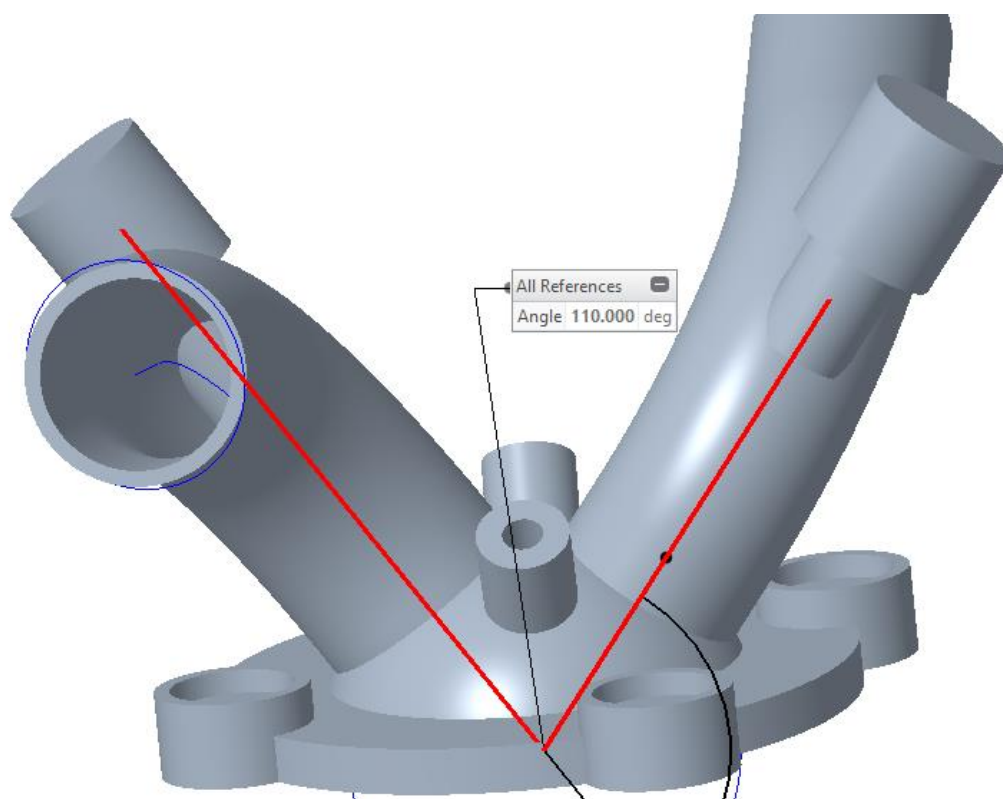


Obr. 34 Zobrazenie kompresný objemu

Pre veľkosti kanálov na vstupe som zvolil priemer 60 mm pre sací a priemer 50 mm pre výfukový kanál. Ďalej sa pridajú nálitky vodítka ventilov a otvory na sviečky. Po niekoľkých úpravách je model zobrazený na obr. 35. Dno sa plánuje zachovať, aby bolo možné hlavu nasadiť na existujúci valec Tatra.



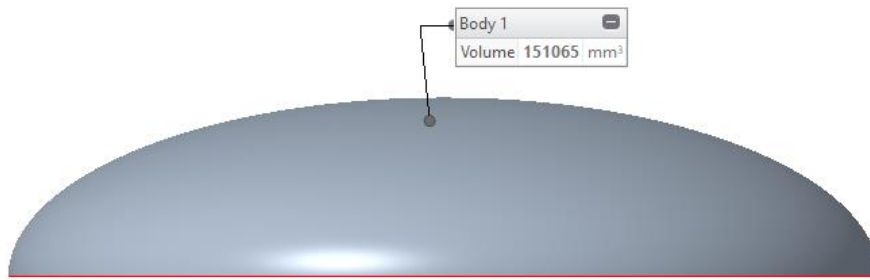
Obr. 35 Model zobrazující dno hlavy valce



Obr. 36 Znáozornenie rozovretia medzi ventilami

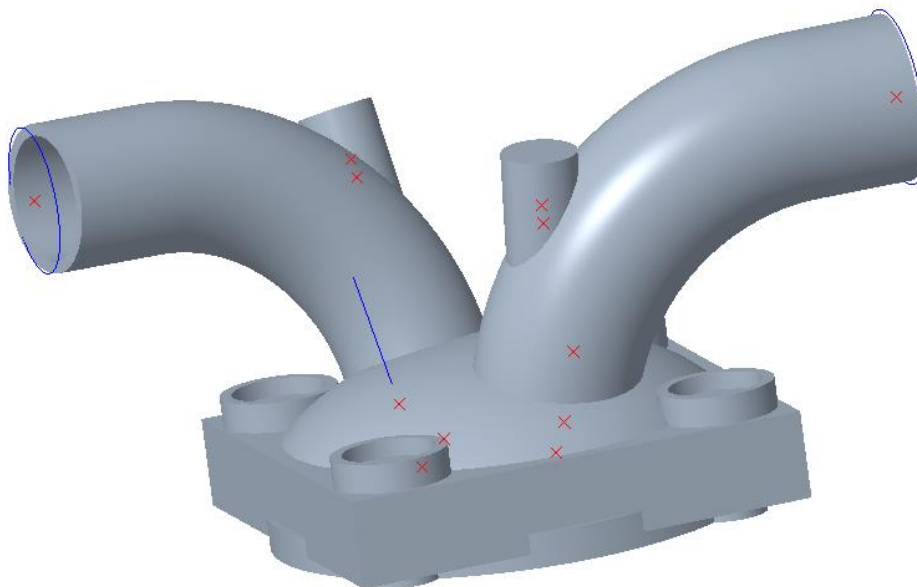
Po niekoľkých interáciách a úpravách spaľovacieho priestoru sa dospelo k nasledujúcemu výsledku. Z obr. 36 je možné vidieť, že uhol rozovretia medzi ventilmi je 70 stupňov. 70 stupňov by mohlo vytvárať komplikácie pri ďalšom modelovaní. Pre porovnanie pri leteckej hlave je tento uhol medzi ventilmi cca 24 – 26 stupňov. Hlavným dôvodom prečo je pri leteckom motore je, uhol tak malý je, že spaľovací priestor je v tomto prípade mierne sploštený, čiže v prípade leteckého motora možno konštatovať, že ide o akýsi eliptický spaľovací priestor. Práve preto je možné dosiahnuť menší uhol medzi ventilmi. V tomto prípade bude zložité namodelovať ventily a vahadlový mechanizmus do tohto modelu. Taktiež by zástavba hlavy valca bola v hornej časti široká. Ďalšou časťou kde by mohol nastať problém, tak sú zdvíhacie tyčky vahadla. Zdvíhacie tyčky by museli byť natočené.

Nasledovať bude teda zmena spaľovacieho priestoru na eliptický, ktorý je na obr. 37, aby sa docielilo zmenšenia uhlu medzi ventilmi a bolo možné vytvoriť uloženie na vahadla, ventily a pružiny. Po zmene spaľovacieho priestoru vychádza kompresný pomer na 11,48:1.



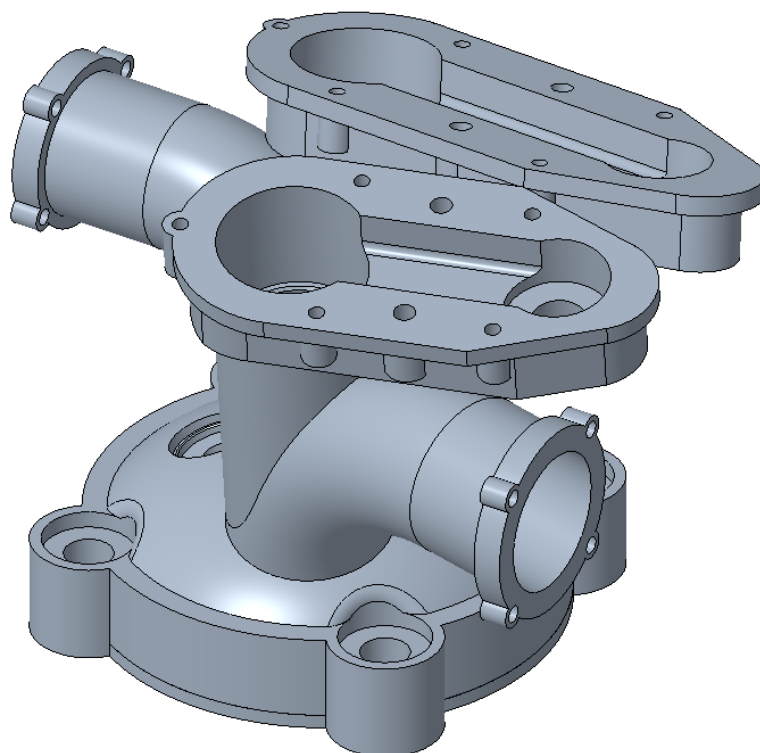
Obr. 37 Zobrazenie eliptického spaľovacieho priestoru

Pri tejto zmene nastali problémy s väzbami, ktoré boli pred tým naviazané na predošlú geometriu. Musela nastať zmena v referenciách, aby sa mohlo pokračovať. Ďalej sa pokračovalo v modelovaní oblasti vahadlového mechanizmu. Pred samotným modelovaním sa museli vytvoriť ďalšie roviny a body, na ktoré sa bude ďalej nadväzovať. obr. 38 znázorňuje práve niekoľko referenčných bodov.



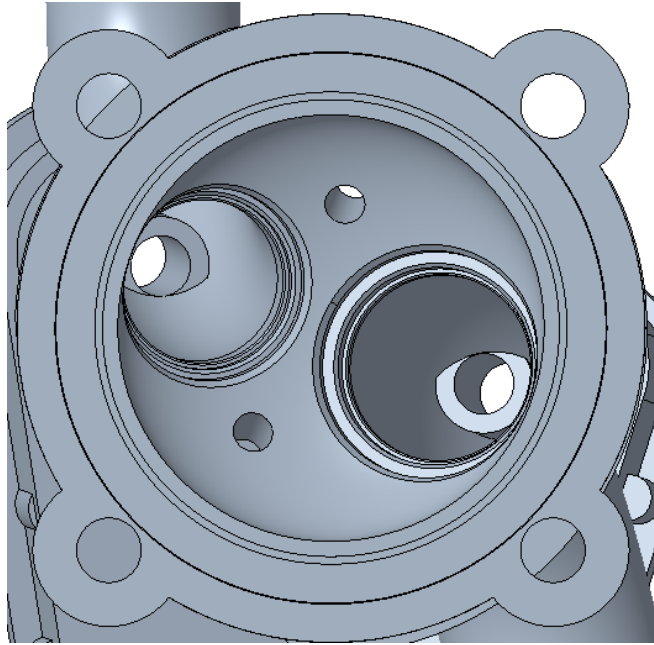
Obr. 38 Model s referenčnými bodmi

Pokračovalo sa modelovaní odliatkov pre vahadlový mechanizmus. Šrouby pre upevnenie vahadla som zvolil M8 a pre montáž veka som zvolil šrouby M6. Na tieto šrouby sa následne vytvorili diery a závity obr. 39 reprezentuje model v ktorom je vymodelovaná príruha sacieho a výfukového kanála, otvor pre sviečky a nálietek na vahadlo.

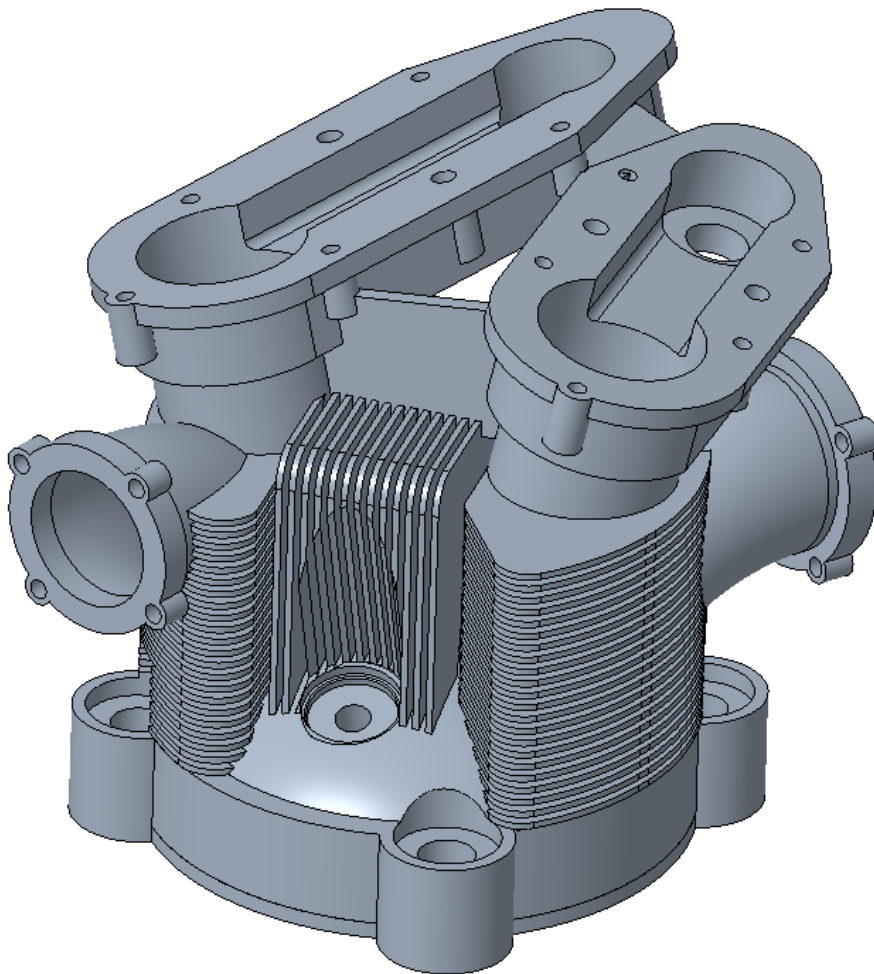


Obr. 39 Model s náliškami na vahadla a prírubou na kanály

Postupnými iteráciami sa dospelo k výsledku, ktorý je na obr. 40 kde je zobrazený spaľovací priestor s vybratiami, ktoré slúžia pre sedlá ventilov, sacím a výfukovým kanálom s vodičkami na ventily. Posledná fáza modelovania je zameraná na rebrovanie, ktoré má slúžiť na dovádzanie tepla z najkritickejších miest. Snahou bolo vytvoriť rebrovanie hlavne v oblasti sediel ventilov, sacieho a výfukového kanála. Nakoniec sa ešte mierne skrátili kanály na vstupe do hlavy a doplnilo sa rebrovanie v oblasti sviečky. Výsledný model je zobrazený na obr. 41. Modelu chýbajú ešte zaoblenia, ale pre potreby výpočtu do Ansysu to nie je potreba. Práve naopak zaoblenia zvyšujú výpočtovú náročnosť.



Obr. 40 Spaľovací priestor s vybrániami pre sedlá ventilov



Obr. 41 Výsledný model hlavy valca

5 PEVNOSTNÉ VÝPOČTY

5.1 ODHAD ZÁŤAŽOVÝCH OKRAJOVÝCH PODMIENOK

Pri určovaní a odhadovaní okrajových záťažových podmienok pre motor, ktorý spaľuje vodík, je nutné vychádzať z jeho špecifických vlastností a pri odhade ich treba zohľadniť.

Predpokladajme že ide o motor, ktorý je preplňovaný. Tlak v spaľovacej komore môže byť od 80 do 120 barov. Keďže ide o vodík, tak ten horí rýchlejšie ako benzín, to znamená, že jeho tlakové špičky sú ostrejšie, ale kratšie. Teplota stien by sa mala pohybovať v rozmedzí od 250 do 300 °C. Steny by nemali mať väčšiu hodnotu, mohlo by dochádzať k samovznieteniu od horkých miest. Preto by sa malo teplo zo stien dostatočne odvádzať do okolitého prostredia. Maximálna teplota v oblasti ventilov je cca 600 °C v oblasti výfuku. Pri chudobnej zmesi vodík môže dosahovať vyšší kompresný pomer bez detonácií. Pri bohatej zmesi by však kompresný pomer musel byť nižší kvôli riziku predzápalu. Približne sa toto rozmedzie pohybuje od 10:1 – 16:1. Odhadnúť tepelné zaťaženie a prestup tepla je náročnejšie. Orientačne predpokladajme, že v oblasti spaľovacej komory hodnota je v rozmedzí 1000 – 1300 W/m² K. Pre získanie reálnejších hodnôt by sa museli využiť priame CFD simulácie, ktoré by dali presnejšie hodnoty, alebo experimentálne zmerať [41,42,43,44].

Dôležitými parametrami pri výpočte bude súčiniteľ prestupu tepla α a tepelná vodivosť λ . Súčiniteľ prestupu tepla sa bude líšiť v spaľovacej komore a na povrchu telesa (hlavy válca). V literatúre [40] sa uvádza, že súčiniteľ prestupu tepla v spaľovacej komore je 500 – 1500 W/m²K. V závislosti na otáčkach motoru, teplotách steny a prúdenia vzduchu (zmesi) v komore. V oblasti rebrovania α by sa mala pohybovať v rozmedzí 50 – 150 W/m². Určitú úlohu pri výpočte hrajú hlavové šrouby, ktoré sa bežne predopn. Pri benzínoch je to od 35-50 kN pre naftové motory je to 70-120 kN kvôli vyšším kompresiam v spaľovacej komore [43].

5.2 PEVNOSTNÁ ANALÝZA KONCEPT Č. 2.1

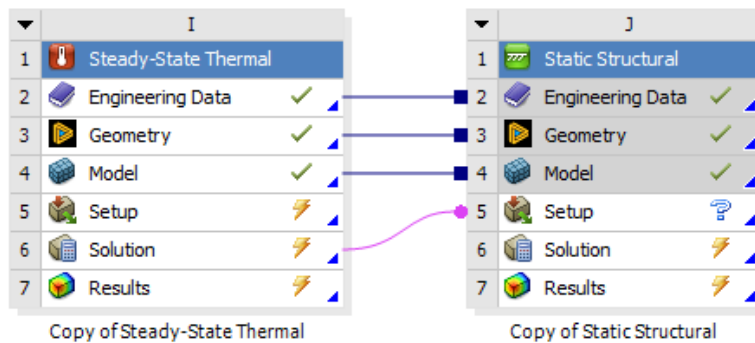
V ďalšej časti bude cieľom posúdiť a z analyzovať namáhanie hlavy, ktoré je spôsobené tepelným a tlakovým zaťažením. Výpočet bude prebiehať v programe Ansys Workbench, kde sa nahrá model. Následne bude prebiehať vytvorenie siete (mesh) a určenie okrajových podmienok, ktoré sú potrebné pre výpočet namáhania hlavy valce. Tieto kroky budú neskôr popísané v diplomovej práci.

Prvotným krokom je vytvorenie Thermal Steady - State analýzy a na ňu naviazať Static Structural analýzu. Je nutné dodržať toto poradie, inak nie je možné zadefinovanie tepelných okrajových podmienok na obr. 42 je toto prepojenie zobrazené.

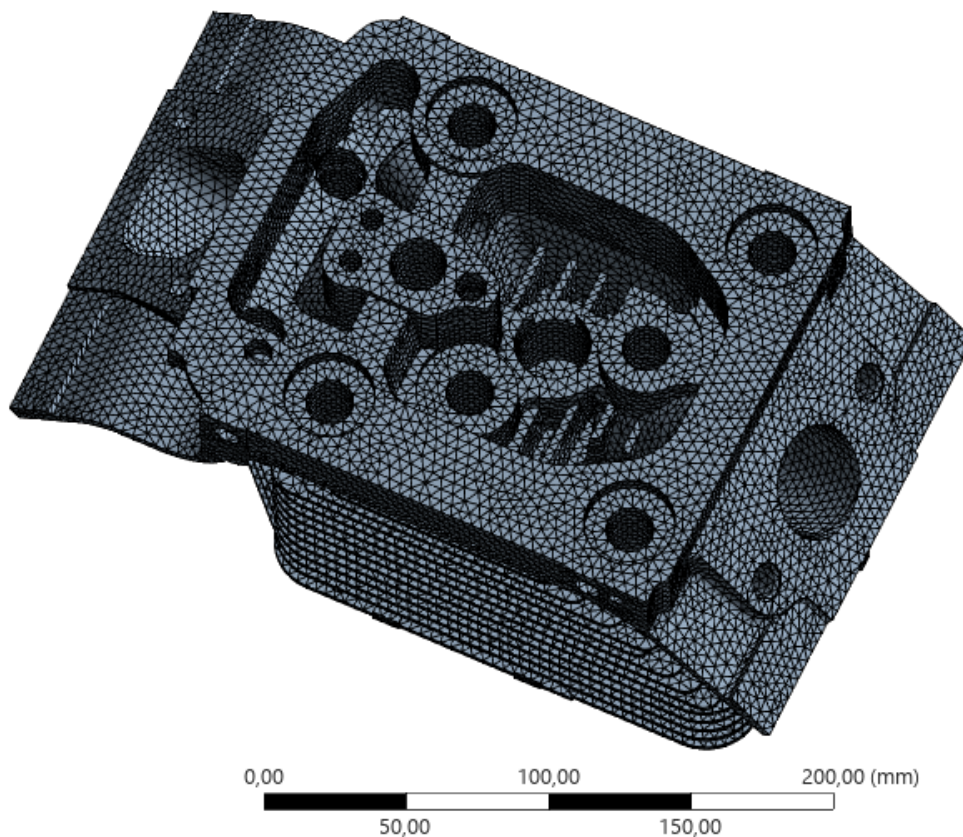
Ďalším krokom bolo nahrať model, nastavenie materiálu v Engineering data a vygenerovanie siete. Pri generovaní siete Ansys z počiatku detegoval chyby, ktoré boli spôsobené nedokonalými plochami v oblasti kanála a ich zložitou. Tieto miesta sa museli zjednodušiť, a upraviť tak, aby bolo možné vygenerovať sieť. Problém z generovaním siete nastal v oblasti sacích a výfukových kanálov. V Creu a v SpaceClaime sa museli tieto miesta mierne upraviť, aby bolo možné pokračovať v generovaní siete. Keďže ide o pevnostnú analýzu a nie CFD analýzu, tak zjednodušenie v oblasti kanálov je možné, a nemalo by ovplyvniť výsledok. Počiatočne vygenerovanú sieť je možné vidieť na obr. 43. Vysieťované prvky na prvý pohľad vyzerajú dobre a pre počiatočný výpočet budú dostačujúce. Sieť sa neskôr môže zjemniť v kritických oblastiach, ktoré odhalí počiatočný výpočet.

Ďalším krokom bolo vloženie hlavových šroubov a podložiek do programu Ansys. Nasledovalo definovanie okrajových podmienok a predpätia skrutiek.

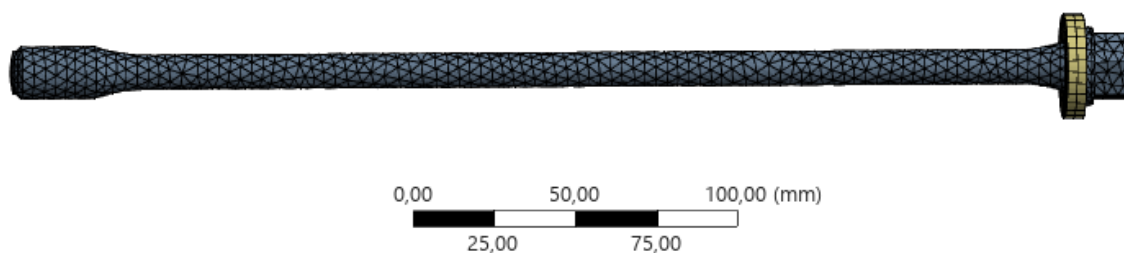
Okrajové podmienky sú spísané *Tab. 2 Súhrn okrajových podmienok pre Ansys Mechanical*. Na nasledujúcich obrázkoch sú znázornené zadávanie okrajových podmienok v programe Ansys. Pre zadávanie hodnôt okrajových podmienok som vychádzal zo zdrojov [41,42,43,44,45]. Hodnoty, ktoré boli zvolené pre okrajové podmienky sa od skutočných experimentálne zmeraných hodnôt môžu mierne líšiť.



Obr. 42 Prepoje tepelnej analýzy s mechanickou v programe Ansys



Obr. 43 Vygenerovaná sieť modelu v programe Ansys



Obr. 44 Vygenerovaná sieť pre šrouby a podložky

5.3 OKRAJOVÉ PODMIENKY

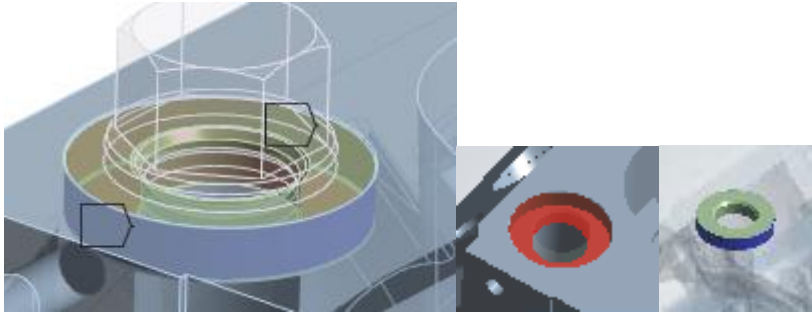
Po vložení hlavy válca do prostredia ansys sa vložili šrouby s podložkami a sedlá ventilov. Pri zadávaní hodnôt pre okrajové podmienky sa vychádzalo z viacerých zdrojov [41,42,43,44]. Hodnoty, ktoré boli zvolené pre okrajové podmienky sa od skutočných experimentálne zmeraných hodnôt môžu mierne líšiť.

Podložkám aj skrutkám sa priradil takzvaný Contact Region, ktorý slúži na definovanie väzby medzi skrutkou a podložkou a taktiež medzi podložkou a hlavou valce. Väzby sú znázornené na obr. 45 a obr. 46 . Typ väzby je Frictional, čo má reprezentovať najreálnejšiu väzbu medzi týmito telesami. Väzba zabezpečuje prenos síl v oboch smeroch tangenciálnom aj normálovom. Umožňuje sklz ak sa prekročí limitné trenie.

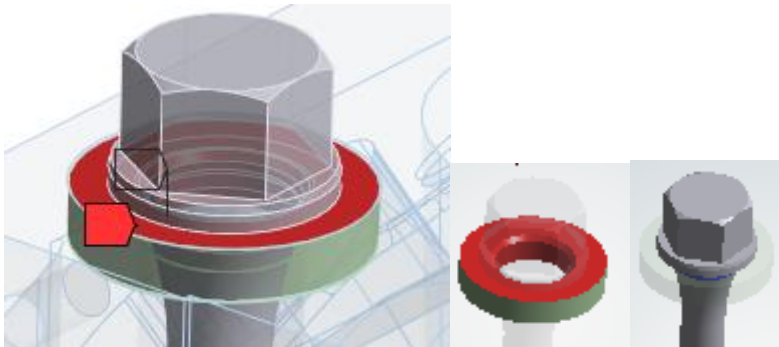
Pre sedlá ventilov sa využila rovnaká väzba Frictional zobrazené na obr. 47. V mieste kontaktu sedla s hlavou vzniká však predpätie, ktoré je spôsobené lisovaním. Sedlá ventilov sú namodelované väčšie, aby zabezpečili predpätie v Ansyse. Ansys túto väzbu deteguje penetráciou v radiálnom smere.

Nasledovalo nastavenie tepelných okrajových podmienok v Steady-State Thermal. Na obr. 48 je znázornené zadanie konvencie na dno spaľovacieho priestoru. Pri tejto podmienke sa zadáva prechod tepla α a teplota T . Rovnako to bolo pre ďalšie 4 podmienky konvekcie. Konvekcia pre povrch rebier obr. 51. Konvekcia v oblasti výfukového sedla ventilu obr. 50. Konvekcia v oblasti sacieho sedla ventilu obr. 50. Posledná podmienka konvekcie bola zadaná na miesto sviečky a jej závit obr. 49. Všetky okrajové podmienky sú spísané Tab. 2 *Súhrn okrajových podmienok pre Ansys Mechanical*. Hodnoty α a T vychádzali zo štúdií, ktoré boli spomenuté

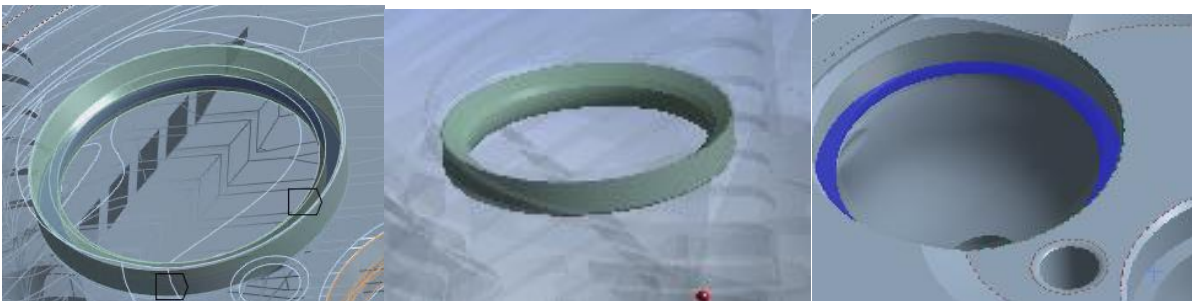
Tepelná vodivosť materiálu je závislá na teplote. Pri výpočte je dôležité zohľadniť narastanie tepelnej vodivosti s narastajúcou teplotou závislosť je na obr. 52 .Ansys však tieto dáta má zozbierané a stačí nastaviť materiál v zložke Engineering data. Pre hlavu valca som zvolil materiál hliníkovú zliatinu (Aluminum Alloy). V ansyse je možné zadať aj konštantnú hodnotu pre celé teplotné spektrum. V literatúre sa uvádza hodnota 150 W/m·K [45].



Obr. 45 kontaktná podmienka pre podložku a hlavu valca

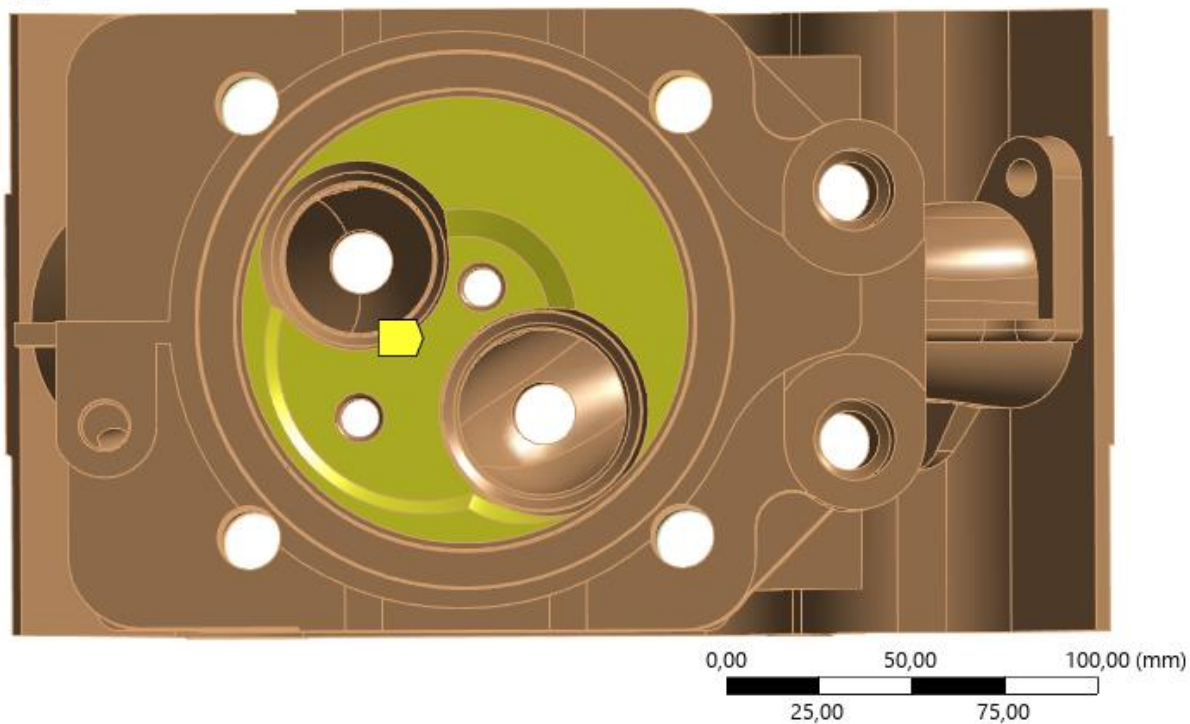


Obr. 46 kontaktná podmienka pre podložku šroub

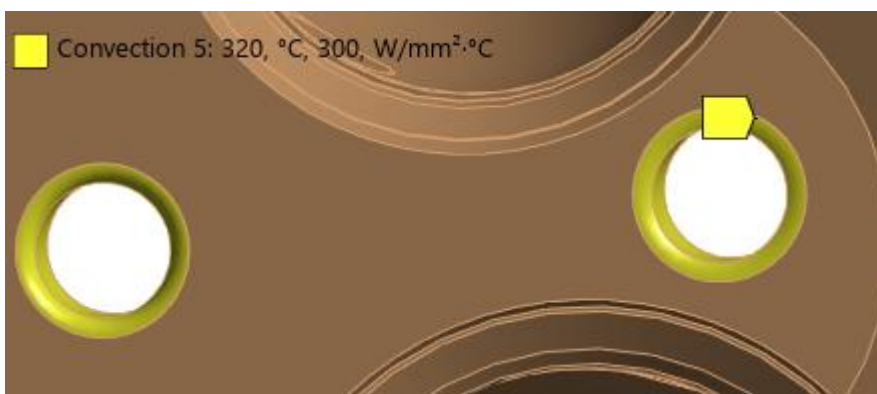


Obr. 47 kontaktná podmienka pre sedlo ventilu hlavu valca

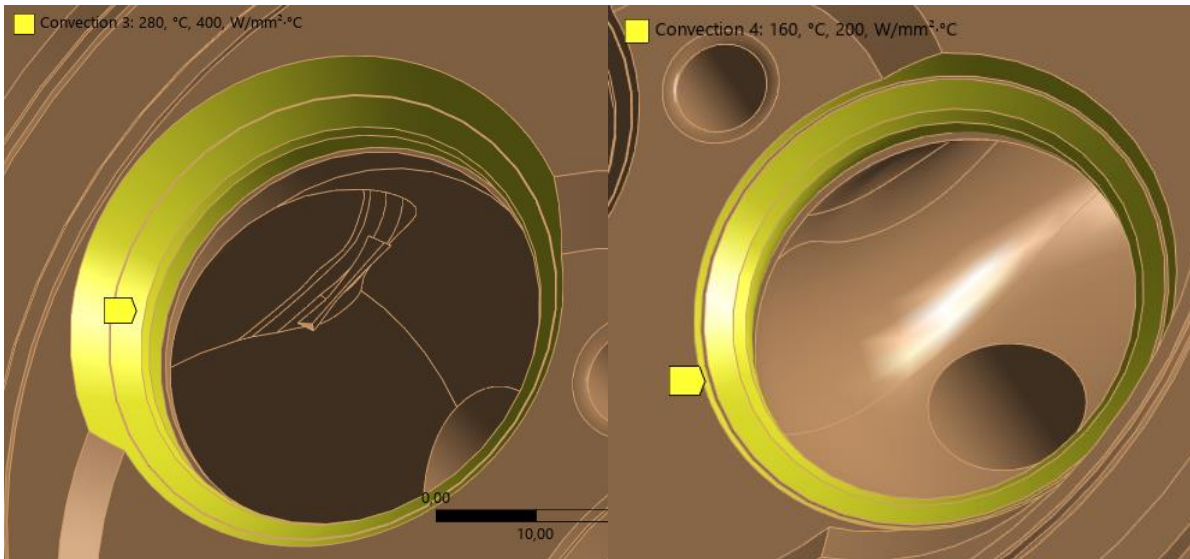
Convection: 320, °C, 1200, W/mm²·°C



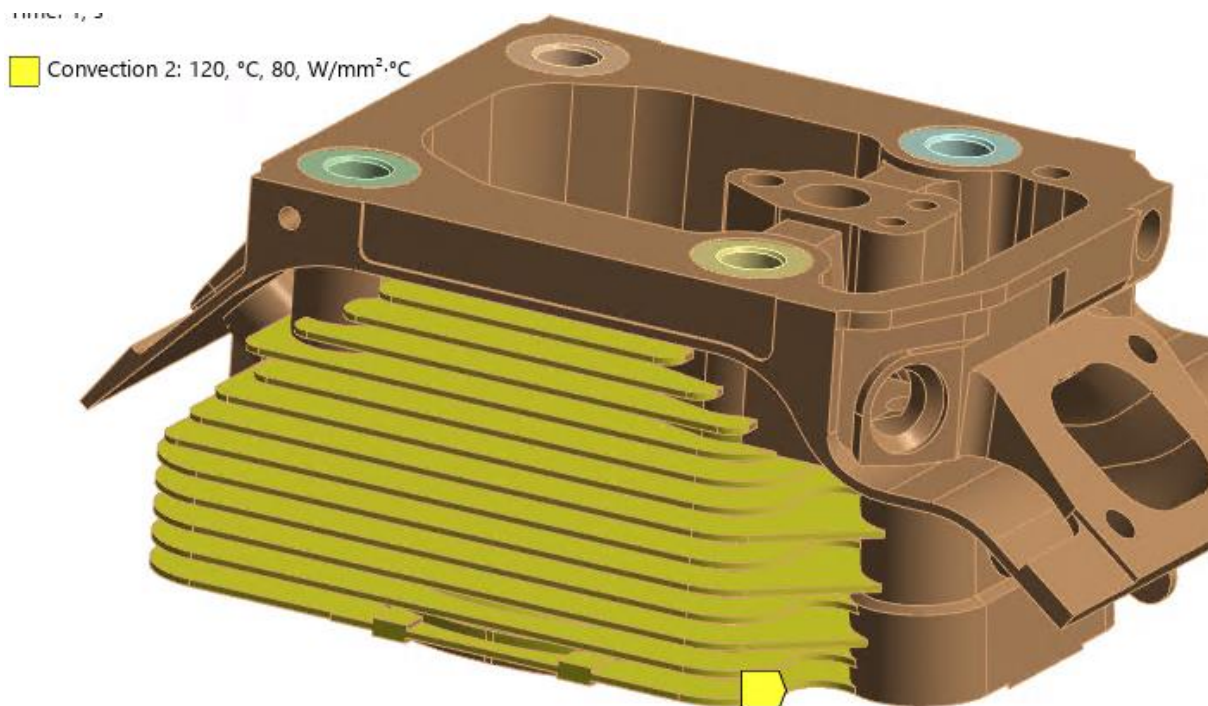
Obr. 48 Podmienka konvekcie zadávaná na dno hlavy valca



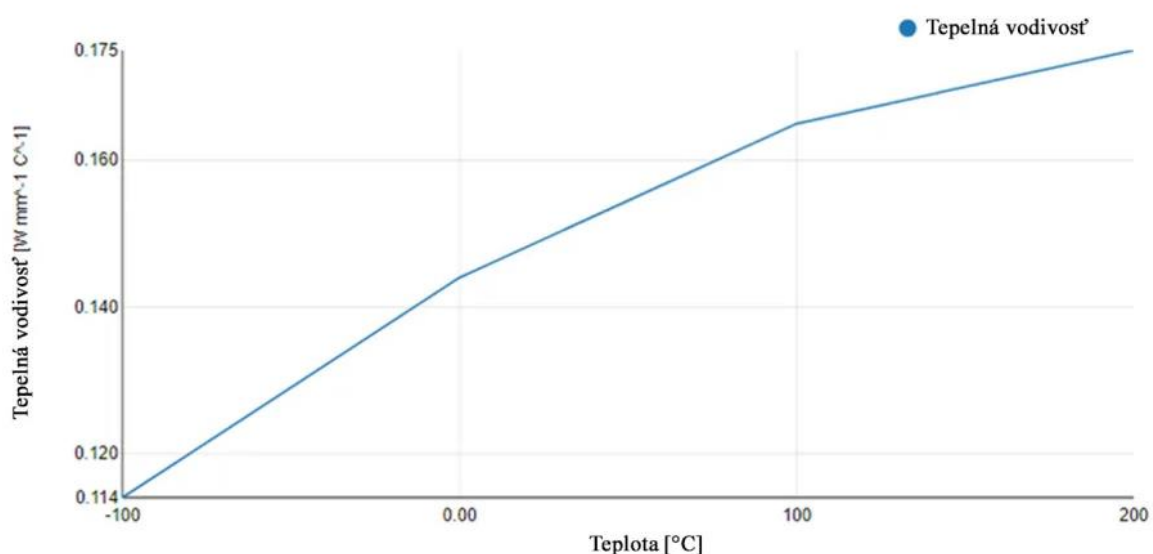
Obr. 49 Podmienka konvekcie zadávaná pre sviečku



Obr. 50 Podmienka konvekcie zadávaná sedlo ventilu.

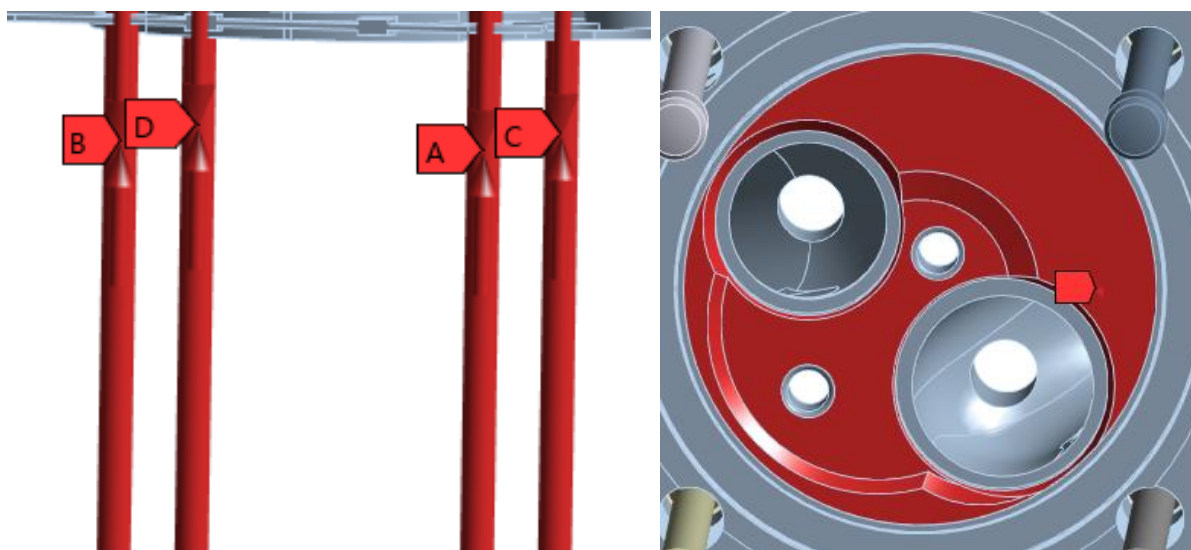


Obr. 51 Podmienka konvekcie zadávaná na rebrovanie hlavy valca



Obr. 52 Tepelná vodivosť hliníkovej zliatiny v Ansyse

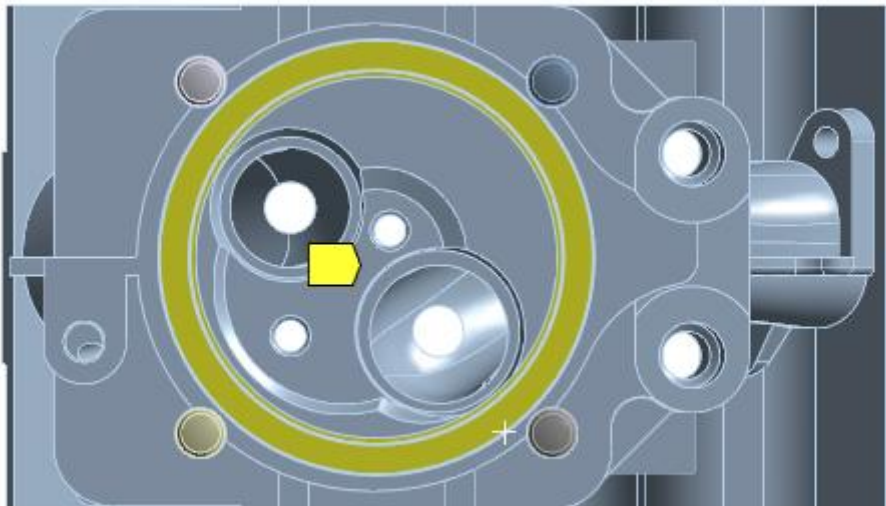
Pokračovalo sa v Static Structural analýze, kde sa nastavovali ďalšie okrajové podmienky k výpočtu. Jednou z prvých podmienok bol Pressure. Podmienka sa nastavila na dno spaľovacej komory, kde sa zadal predpokladaný maximálny tlak, ktorý môže v spaľovacej komore vzniknúť. Táto podmienka je znázornená na obr. 53. Obr. 55 zobrazuje ďalšiu podmienku ktorá je Frictionless support na plochu, kde sa dotýka hlava s valcom. Podmienka zamedzuje pohyb v normálovom smere. Na spodnú časť šroubov bola zadaná pevná väzba Fixed Support, ktorá zamedzuje všetky posuvy a natočenie, reprezentuje pevné spojenie šroubov s valcom obr. 54 Keďže v skutočnosti sú šrouby predopnuté tak sa použila podmienka Bolt Pretension, ktorá presne na toto slúži, kedy v prvom kroku sa nastaví takzvaný Load, určí sa hodnota na akú silu sa má skrutka predopnúť a v druhom kroku sa zvolí Lock, kedy sa táto hodnota uzamkne a vznikne tak predpätie. Rovnako sa tento postup použil pre predopnutie ostatných šroubov.



Obr. 53 Podmienka Bolt Pretension na šrouby a podmienka Pressure na dno valca



Obr. 54 Podmienka Fixed Support na závit Šroubov

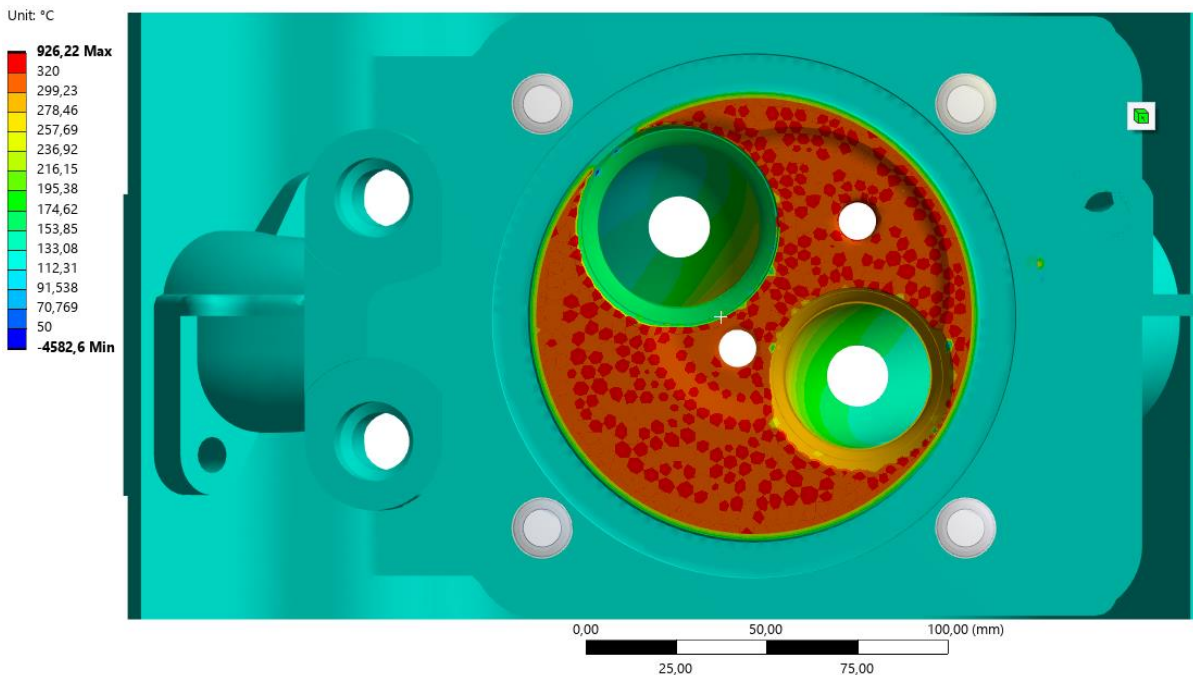


Obr. 55 Podmienka Frictionless Supporter na dosadaci plochu valca

Tab. 2 Súhrn okrajových podmienok pre Ansys Mechanical

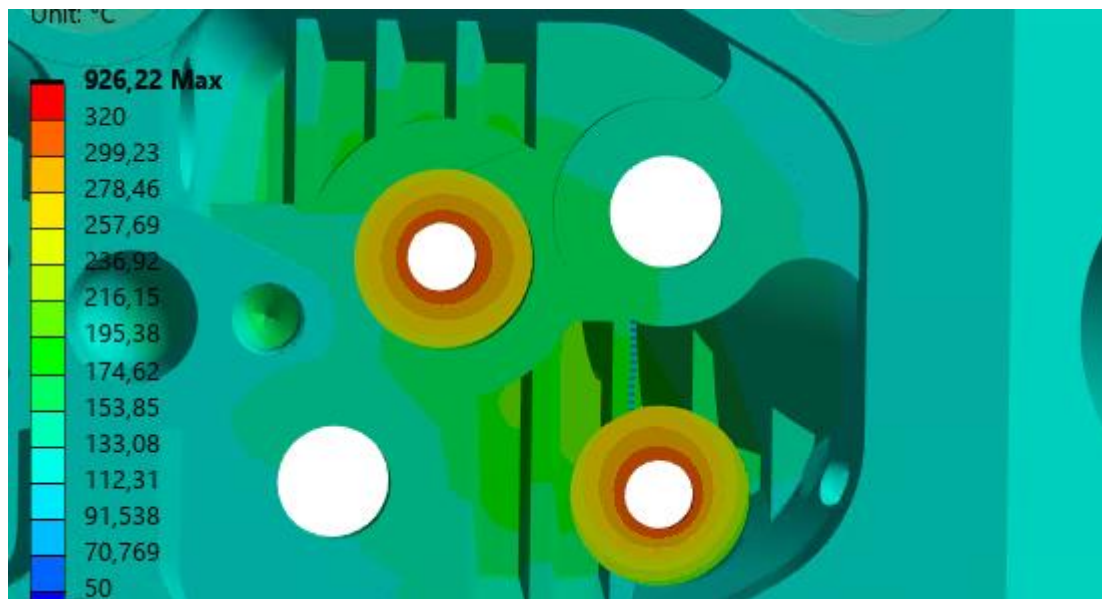
Okrajová podmienka	Oblasť	Hodnota
Tlak v spaľovacej komore/Pressure	Plochy vo vnútri spaľovacej komory	$p = 11 \text{ MPa}$
Pevná podpora /Fixed Support	Spodné časti skrutky	Zamedzenie posunu a natočeniu
Predopnutie hlavovej ŕoby/ Bolt Pretension	šrouby	$F = 50 \text{ kN}$
Kontaktná plocha s blokom/ frictionless support	Spodná dosadacia plocha hlavy valca	Zamedzenie v normálovom smere/ možnosť deformácie
Kontaktná plocha/ Contact Region	Hlava valce/podložka	Frictional = 0,1
Kontaktná plocha/ Contact Region	Skrutka/podložka	Frictional = 0,1
Kontaktná plocha/ Contact Region	Sedlo ventilov	Frictional = 0,1
Vedenie/ Convection	Steny vo vnútri spaľovacej komory	$\alpha = 1200 \text{ W/m}^2\text{K}$, $T = 320 \text{ }^\circ\text{C}$
Vedenie/ Convection	Povrch hlavy/Rebrá	$\alpha = 80 \text{ W/m}^2\text{K}$, $T = 120 \text{ }^\circ\text{C}$
Vedenie/ Convection	Sedlo ventilu - výfuk	$\alpha = 400 \text{ W/m}^2\text{K}$, $T = 280 \text{ }^\circ\text{C}$
Vedenie/ Convection	Sedlo ventilu - sanie	$\alpha = 200 \text{ W/m}^2\text{K}$, $T = 160 \text{ }^\circ\text{C}$
Vedenie/ Convection	Zapaľovacia sviečka	$\alpha = 300 \text{ W/m}^2\text{K}$, $T = 320 \text{ }^\circ\text{C}$
Tepelná vodivosť hlavy	Hlavy valca	$\lambda = f(T)$, Ansys
Teplota/Temperature	Dosadacia plocha hlavy	$T = 130 \text{ }^\circ\text{C}$
Teplota/Temperature	Hlavy válca	$T = 100 \text{ }^\circ\text{C}$

5.4 VÝSLEDKY ANALÝZY



Obr. 56 Rozloženie teplôt na stenách hlavy valca z pohľadu na spaľovací priestor

Na obr. 56 je zobrazené rozloženie teplôt z pohľadu na spaľovací priestor. Na stene dna hlavy sa dosahujú teploty okolo 320 °C. Teplo sa šíri od miesta, kde som zadal teplotu povrchu do ostatných častí. Najväčšiu teplotu vykazujú miesta v okolí spaľovacieho priestoru výfukového sedla, tak ako sa predpokladalo. V oblasti sacieho kanála a sedla možno pozorovať nižšie teploty ako pri výfukovom kanáli a jeho sedle. Menšie teploty oblasti sacieho kanálu odpovedajú realite, keďže do spaľovacieho priestoru prúdi čerstvý vzduch a následne sa splaliny odvádzajú výfukovým kanálom. Práve preto v tejto oblasti je zase teplota väčšia. Na obr. 57 možno taktiež pozorovať zvýšenú teplotu v oblasti zapalovacích sviečok okolo 300 - 320°C. Možno konštatovať, že táto hodnota je blízka realite, čo sa dalo aj predpokladať, keďže na túto stenu sa zadávala okrajová podmienka s teplotou.



Obr. 57 Rozloženie teplôt na stenách hlavy valca z hornej časti

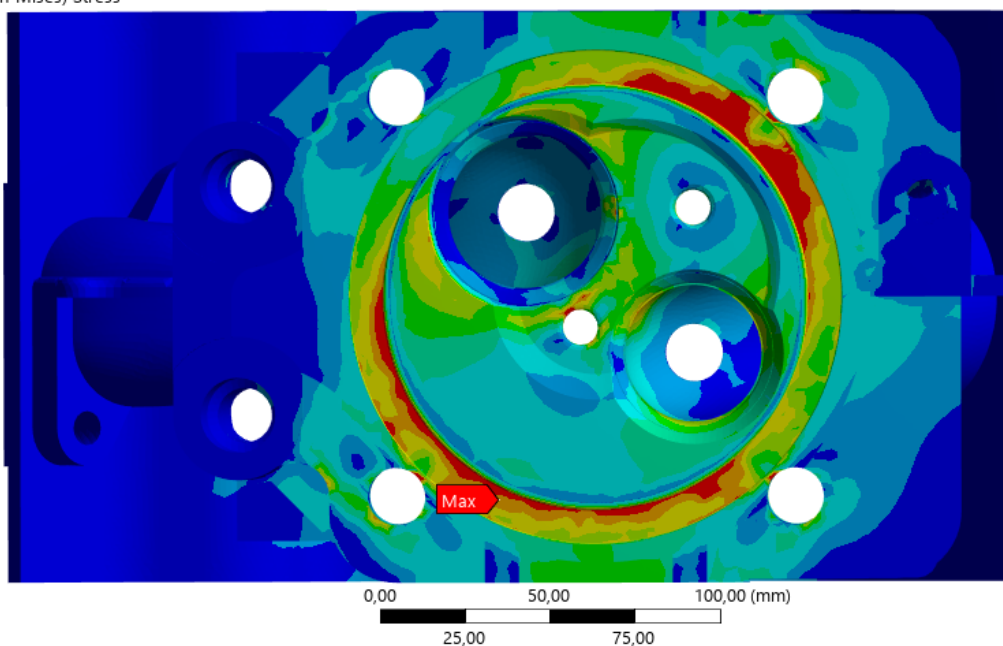
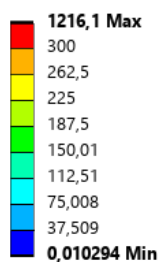
D: Model1-Static-Structural

Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

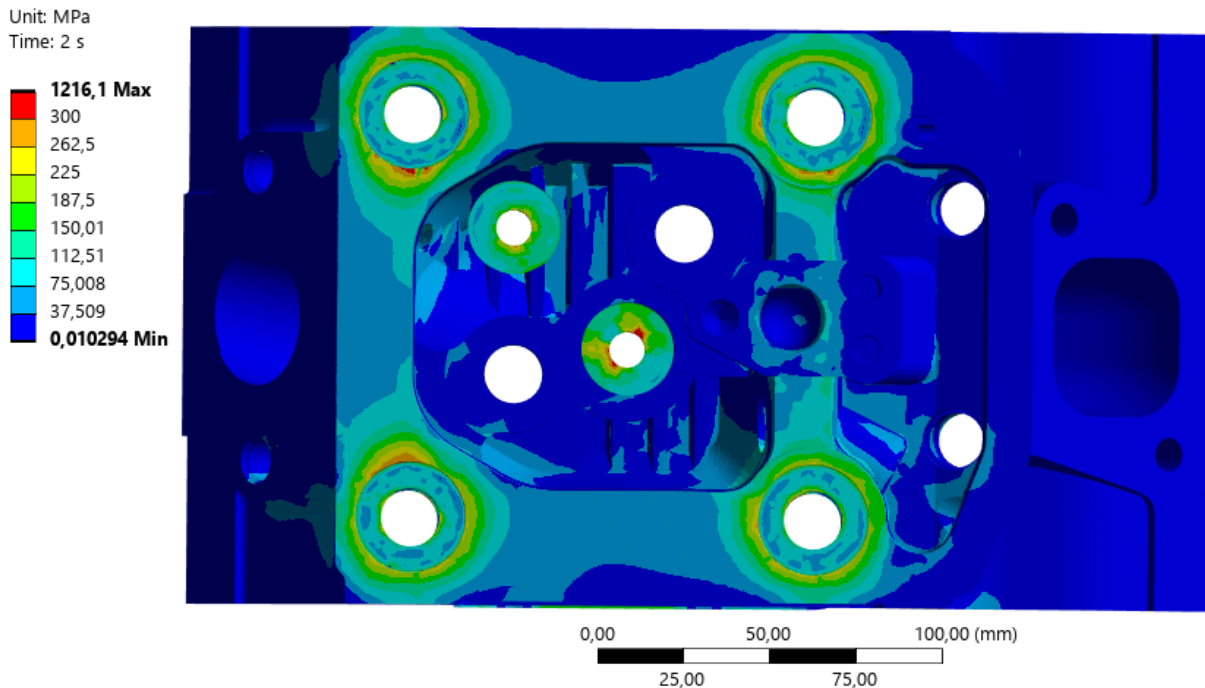
Unit: MPa

Time: 2 s

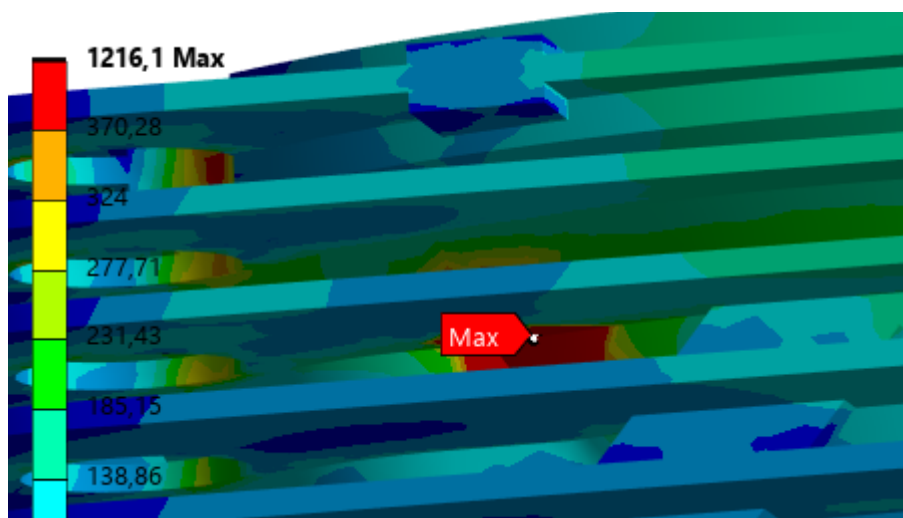


Obr. 58 Rozloženie napätia na spodnej časti hlavy valca

Na obr. 58 možno pozorovať zvýšené napätie na kontaktnej ploche s hlavou a valcom. Tu by však nemal nastať problém z hľadiska bezpečnosti. Materiál by v týchto miestach pravdepodobne splastizoval.

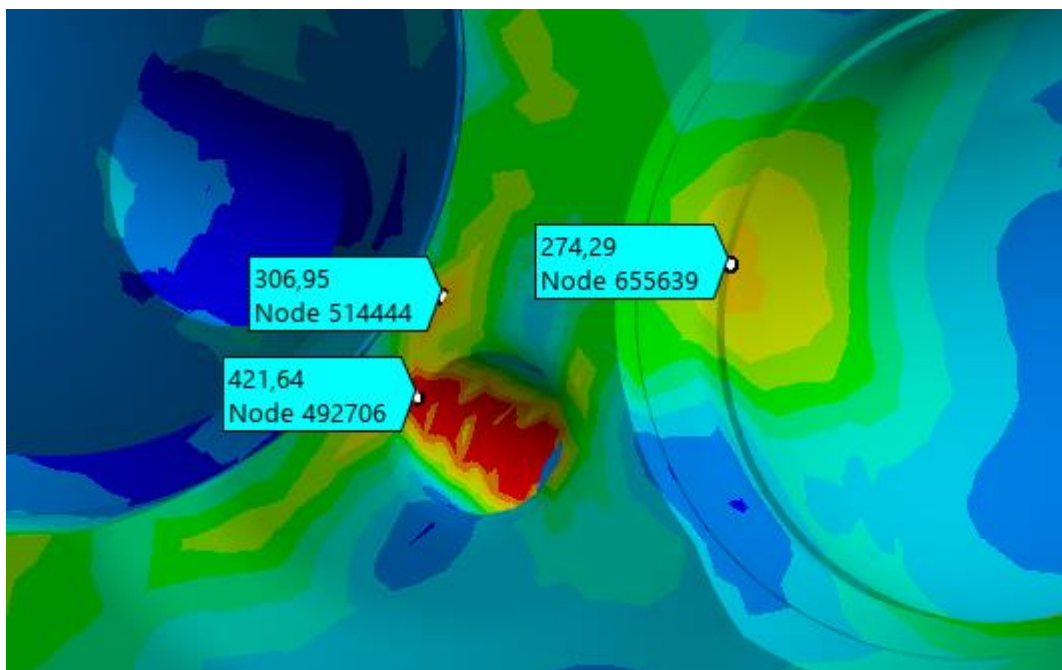


Obr. 59 Rozloženie napätia na hornej časti hlavy valca



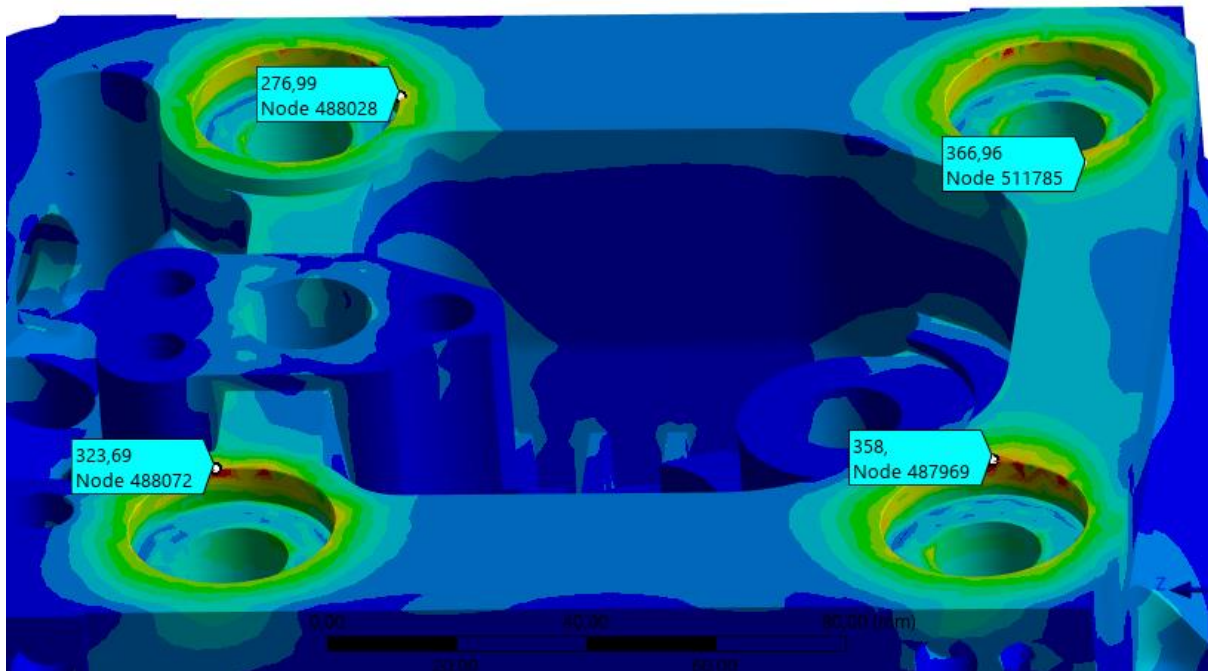
Obr. 60 Maximálne napätie na vonkajšej stene hlavy valca

Miesto s maximálnym napätím je z vonkajšej strany hlavy s hodnotou 1200 MPa. Toto napätie sa mohlo objaviť na elemente, ktorý s okolitými elementami mohol vytvárať ostrú hranu a dochádzať ku koncentracii napätia. Napätie na tomto mieste však nemusíme brať do úvahy a môžeme ho zanedbať. Napätie by sa dalo znížiť zjemnením siete, alebo zaoblením modelu, ale zase sa nám zvýši počet elementov a uzlov a tým sa zvýši aj potrebný čas na výpočet.



Obr. 61 Maximálne hodnoty napätia v kritickej oblasti spaľovacieho priestoru

Na obrázku obr. 61 sú zobrazené maximálne hodnoty redukovaného napätia (von Mises) 425 MPa, 421 MPa, 262 MPa, ktoré sa nachádzajú v spaľovacom prostredí. Miesta maximálneho napätia sú v oblasti mostíka medzi sedlami a miestom, kde bol predtým umiestnený vstrekovač a po úprave hlavy je tu umiestnená sviečka. Hodnoty napätia v tomto mieste vychádzajú pomerne vysoké. Sieť v tejto oblasti nemusela mať ideálny tvar a opäť sa tu mohlo koncentrovať napätie. Hlava valce je namáhaná prevažne tlakom, preto tieto hodnoty napätia by nemali spôsobovať problémy pri prevádzke motora. Problém by bol, keby je napätie ťahové, kedy by sa prekročila mez pevnosti materiálu a hlava by mohla prasknúť. Pre dosiahnutie presnejších výsledkov by bolo vhodné zjemniť sieť práve v tejto kritickej oblasti.



Obr. 62 Hodnoty maximálnych napätí v oblasti šroubov

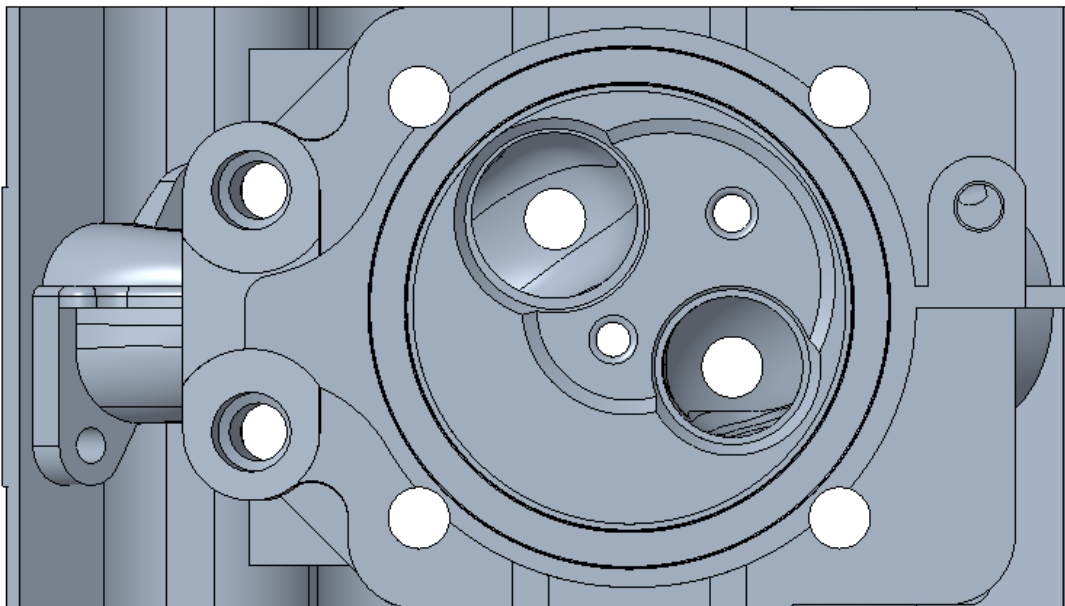
Z horného pohľadu na hlavu môžeme pozorovať taktiež zvýšené napätia v oblasti zahĺbenia na šrouby. Hodnoty sa pohybujú v rozmedzí 270-360 MPa. Znova sa napätie koncentruje na ostrých hranách, predpokladám, že tu nastal rovnaký problém aký som už pred tým spomínal.

Prvotne sa vo výpočte zahrnuli aj sedlá ventilov. Táto podmienka však vytvára predpätie v kritickej oblasti, pretože sedlá sú zalisované a vymodelované s presahom. Po zadaní okrajových podmienok a pridaní predpätiam sediel ventilov výpočty v Ansyse boli nereálne a od skutočnosti boli veľmi vzdialené. Domnievam sa, že to mohlo byť spôsobené hlavne predpätím, v tejto oblasti. Po konzultácii s vedúcim práce sme sa rozhodli, že bude lepšie pokračovať vo výpočtoch bez sediel ventilov. Taktiež sedlá ventilov tejto kritickej oblasti môžu pridať na tuhosť a presne tomu sa pri výpočte chceme vyhnúť, keďže skúmame práve tieto kritické miesta a snažíme sa určiť ako veľmi je hlava zaťažovaná.

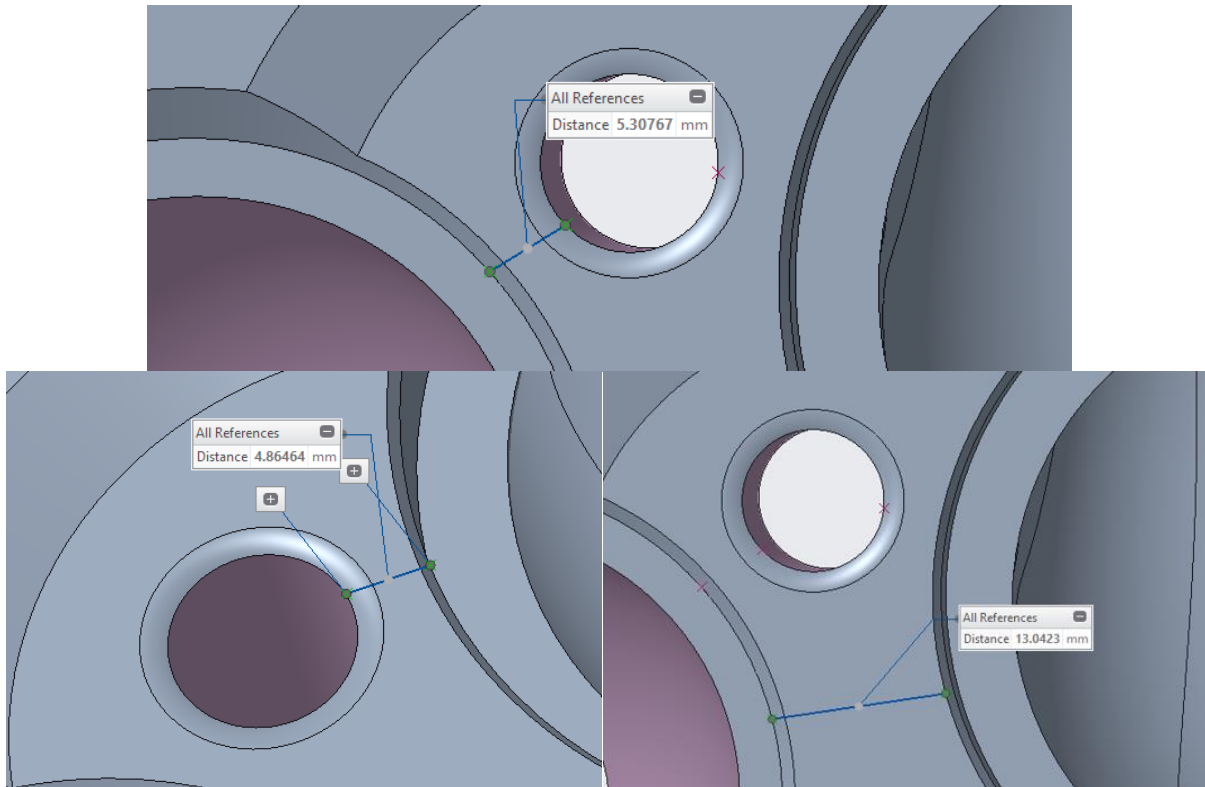
V Prvej analýze som odhalil kritické miesta a oblasti, kde vznikli vysoké napätia. V ďalšej iterácii sa pokúsím o uváženie výpočtu bez sedla ventilu a zjemnenie siete v tejto oblasti. Pokúsím sa o navrhnutie zlepšenia pre túto kritickú oblasť.

5.5 VYLEPŠENIE KRITICKÝCH MIEST

Po pevnostnej analýze nasledovala konštrukčná úprava modelu v kritických oblastiach mostíku za účelom zníženia napätia. Na obr. 63 možno vidieť, ako sa zmenila hrúbka steny medzi dosadacími plochami sediel ventilov, taktiež rozdiel v hrúbke steny v kritickej oblasti medzi sviečkou a dosadacou plochou ventilu. V *Tab. 3 Zmeny hrúbiek mostíkov* sú tieto hodnoty spísané. Na obr. 65 je zobrazená upravená konštrukcia mostíkov medzi sedlami ventilov.



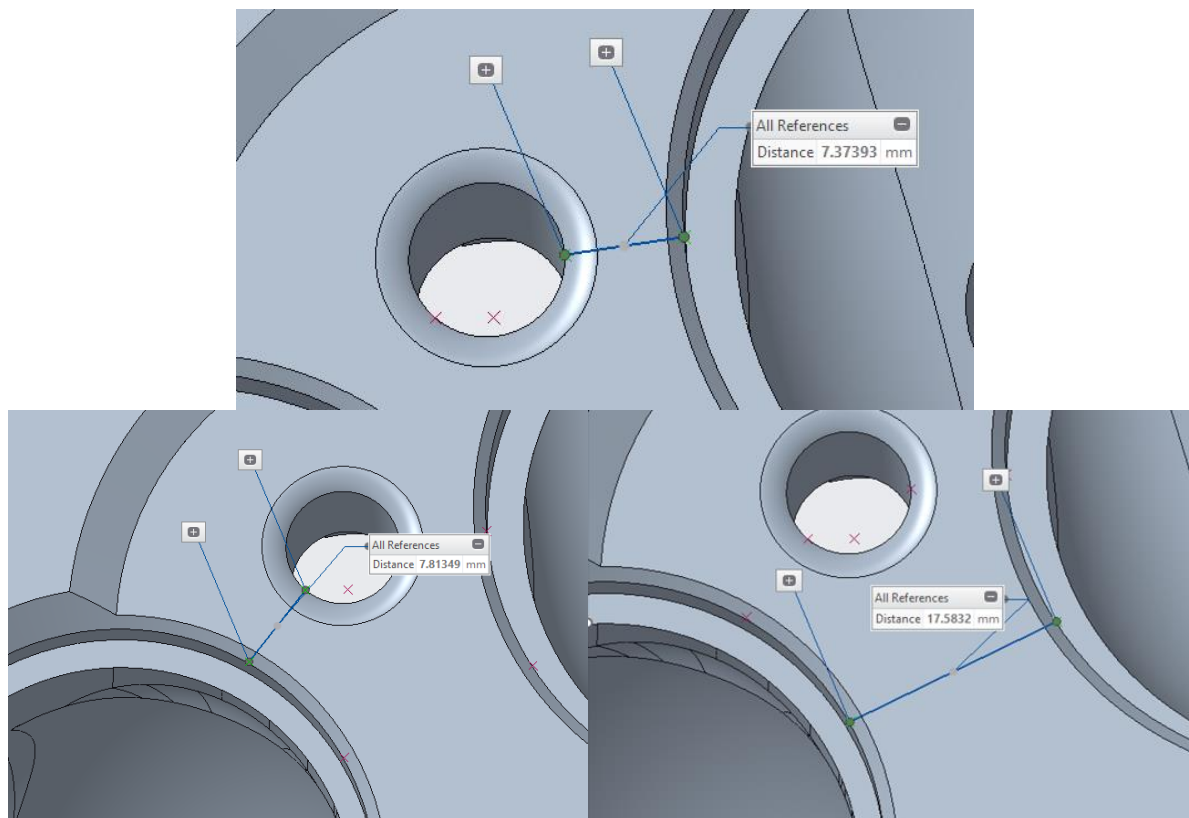
Obr. 63 Konštrukčná úprava mostíka v oblasti kritických miest



Obr. 64 Znáozornenie hrúbky stien v kritických miestach pred úpravou

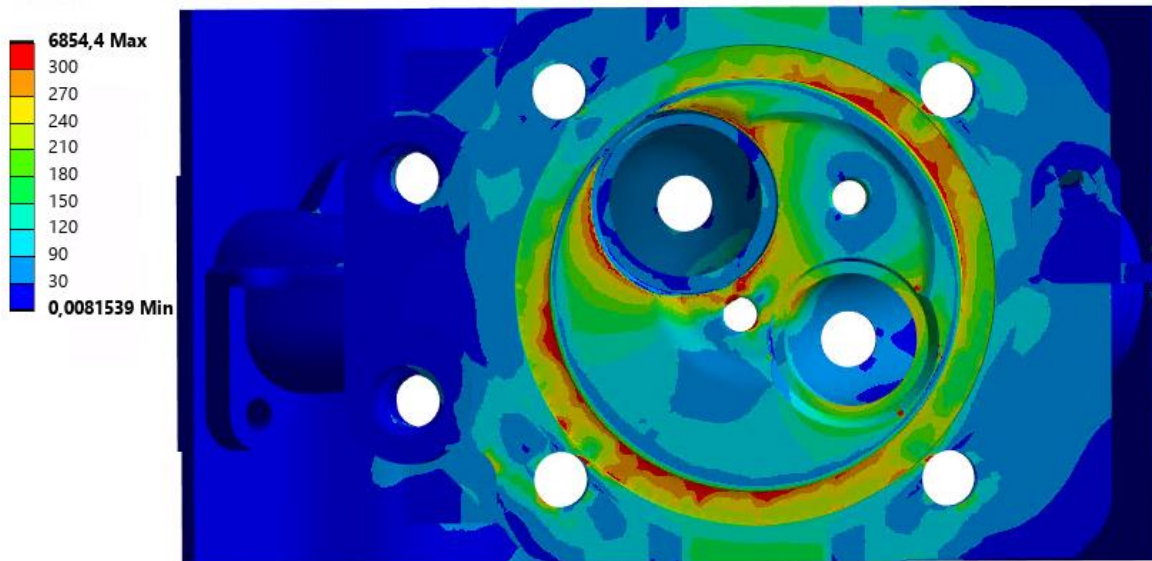
Tab. 3 Zmeny hrúbiek mostíkov

Oblasť	Pred úpravou [mm]	Po úprave [mm]
Mostík medzi sacím/ výfukovým sedlom	13	17,6
Mostík medzi sviečkou/výfukovým sedlom	5,3	7,8
Mostík medzi sviečkou/sacím sedlom kanálom	4,9	7,4

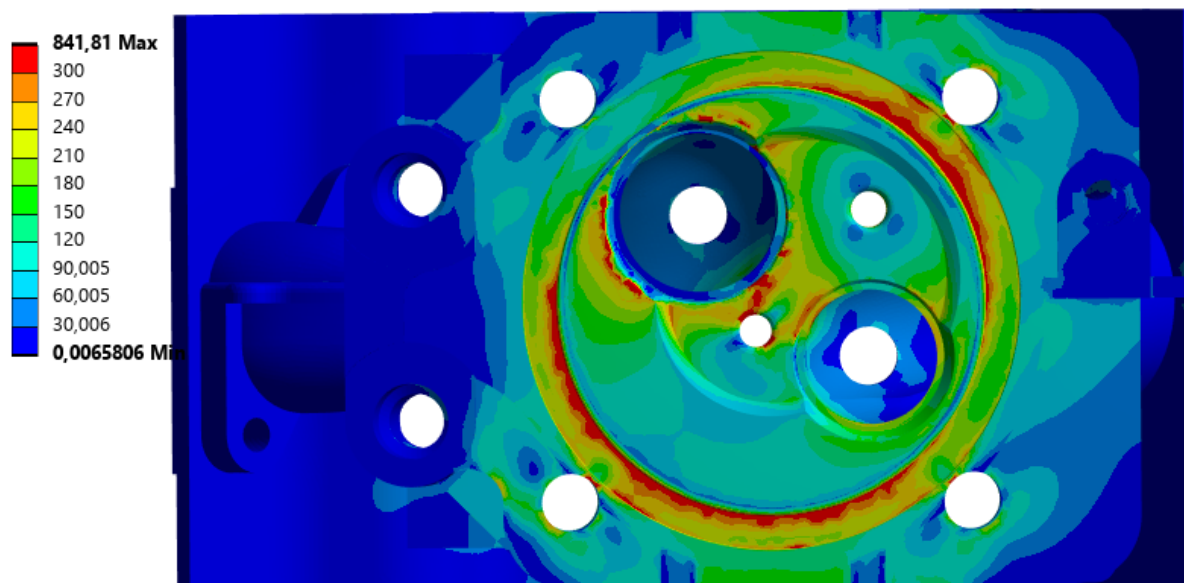


Obr. 65 Znáozornenie hrubky stien v kritických miestach po úprave

Pri vkladaní modelu do Ansysu opäť nastal problém s nedokonalou geometriou telesa, preto geometria musela byť mierne upravená v SpaceClaim, aby bolo možné vygenerovať sieť. Nakoniec musela byť aj veľkosť elementov na 3 mm. Pridať sa musela funkcia Vertex sizing a Face Sizing, aby program dokázal vygenerovať sieť. Okrajové podmienky ostali zachované až na jednu ktorá bola odstránená, bol to kontakt medzi sedlami ventilov a hlavou válce, keďže sedlá ventilov vo výpočte nebudem uvažovať.



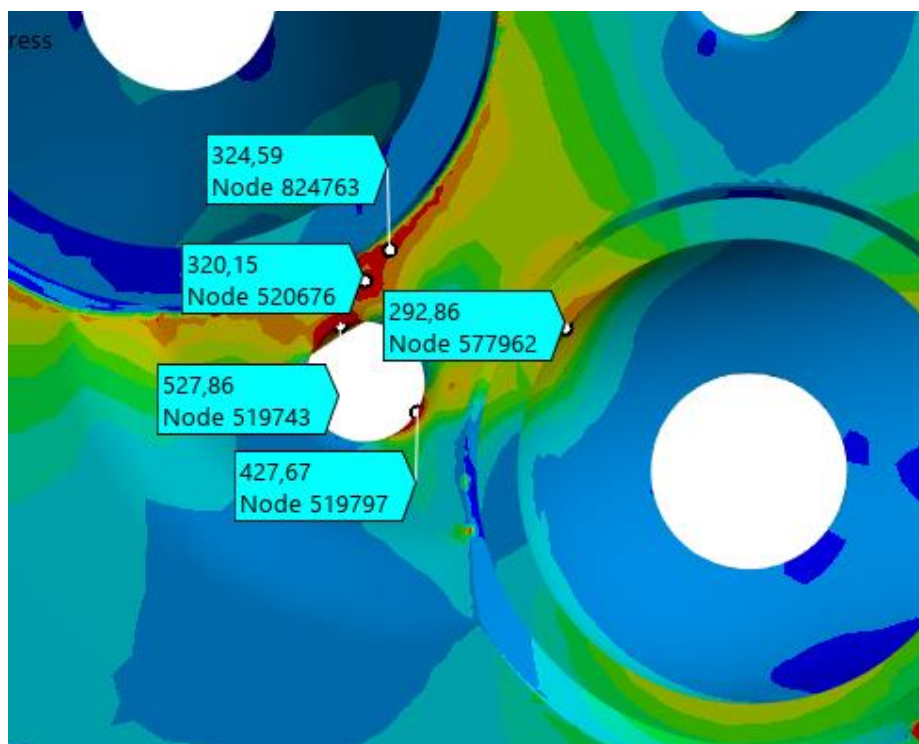
Obr. 66 Rozloženie napätia na hlave pred úpravou mostíka



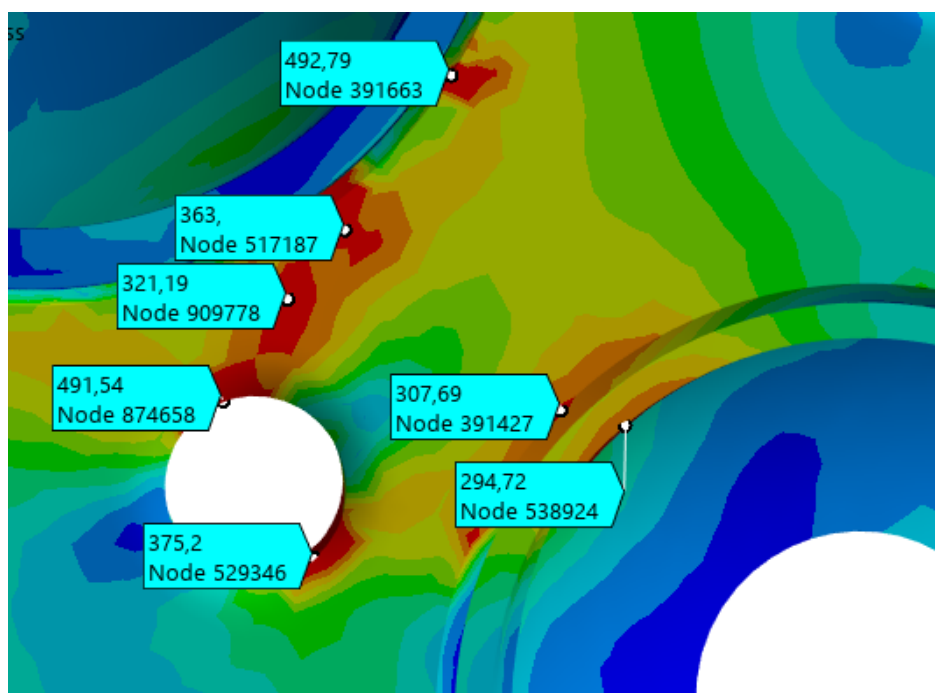
Obr. 67 Rozloženie napätia na hlave po úpravou mostíka

Na obrázkoch obr. 66 a obr. 67 možno pozorovať rozdiely v napätí. Škála na boku je nastavená pre oba prípady rovnako, aby sa obrázky medzi sebou dali porovnať vizuálne. Maximálnych hodnôt si netreba všímať ide o akúsi nepresnosť, ktorá sa pri numerických výpočtoch niekedy vyskytne. Podstatné je však sa pozrieť na kritické miesta ktoré boli upravované. Na obr. 68 a obr. 69 sú zobrazené elementy, s maximálnym napätím, ktoré sa v týchto oblastiach nachádzalo. Možno konštatovať, že v oblasti sviečky sa toto napätie zmenšilo. Miesto výfukového sedla zostalo takmer bez zmeny napätia. V Oblasti sacieho sedla napätie zase mierne narástlo a vyskytla sa špička napätia s hodnotou 492 MPa, ktorá však môže byť

skreslená z už spomínaných dôvodov vyššie. Každopádne od tejto úpravy som očakával výraznejší pokles napätia, čo sa v tomto prípade nedá povedať. Jedine kde pokleslo napätie je v oblasti sviečky, ostatné kritické miesta ostávajú bez výraznej zmeny.



Obr. 68 Hodnoty maximálnych napätí v kritickej oblasti pred konštrukčnou úpravou

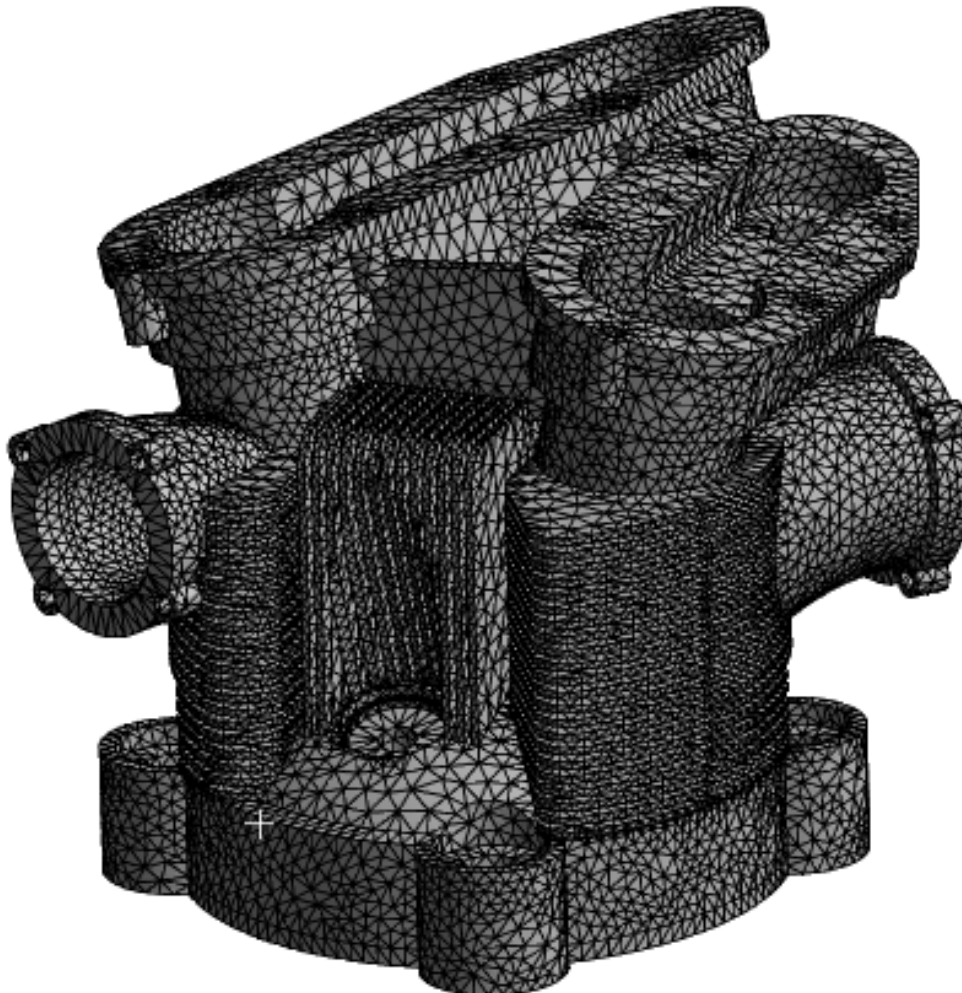


Obr. 69 Hodnoty maximálnych napätí v kritickej oblasti po konštrukčnej úprave

5.6 PEVNOSTNÝ VÝPOČET KONCEPTU 3.1

Postupovať sa bude rovnako ako pri predchádzajúcom modeli, nastanú však malé zmeny pri upevnení šroubov. V reálnej situácii by sa pri tejto hlave muselo predpokladať, že šrouby budú vedené zo spodu a hlava bude upevnená maticami s podložkou. To je spôsobené zástavbou sacieho a výfukového kanála, ktoré zasahujú do osi šroubov. Pre zjednodušenie a zachovanie rovnakých podmienok pre oba modely použijem rovnaké šrouby, podložky a okrajové podmienky ako v predchádzajúcom výpočte.

Analogicky sa vytvorila Steady-State Thermal analýza na ktorú sa naviazala Static Structural analýza. Počiatočná sieť bola vygenerovaná s veľkosťami elementov 4 mm obr. 70 . Pre prvú iteráciu výpočtu je táto sieť dostatočná. Tepelné okrajové podmienky boli nastavené rovnako ako pri predchádzajúcom modeli a sú spísané vypísané v *Tab. 2 Súhrn okrajových podmienok pre Ansys Mechanical*. Zmena nastala jedine v kontaktnej okrajovej podmienke, ktorá sa týkala sediel ventilov a hlavy valca. Sedlá ventilov sa pri tomto výpočte nebudú uvažovať z už uvedených dôvodov.



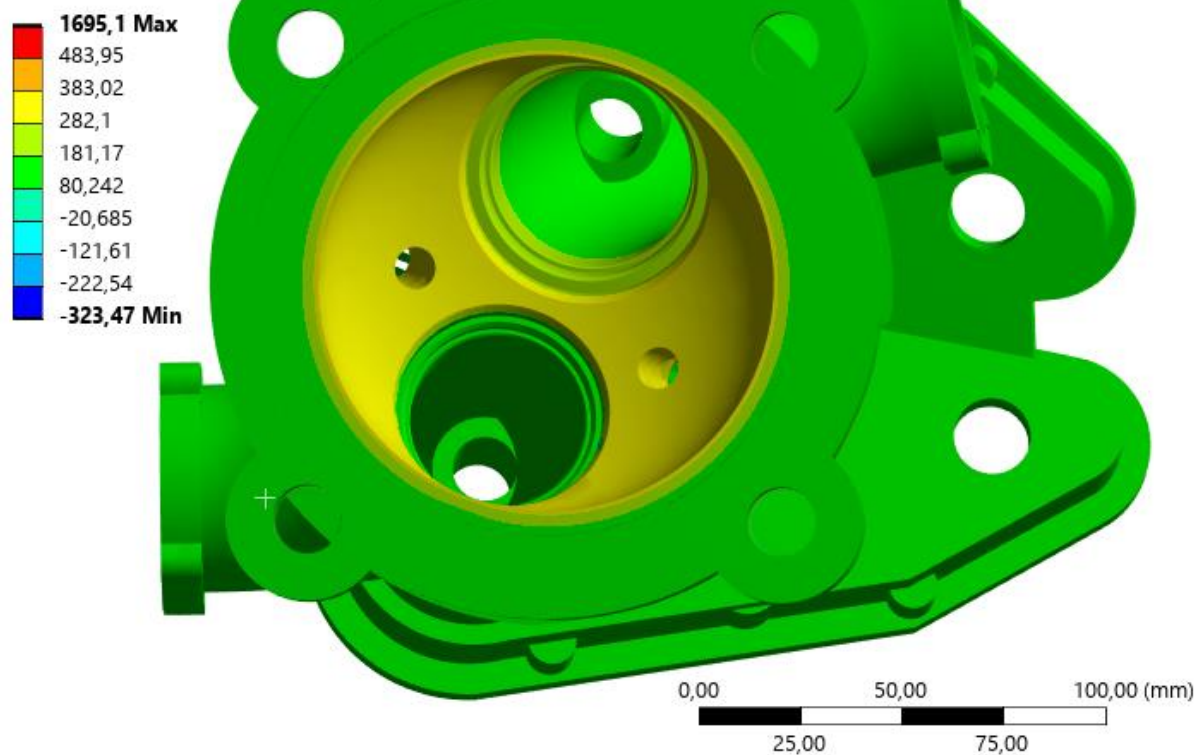
Obr. 70 Vygenerovaná sieť modelu konceptu 3.1

F: Static Structural

Imported Body Temperature

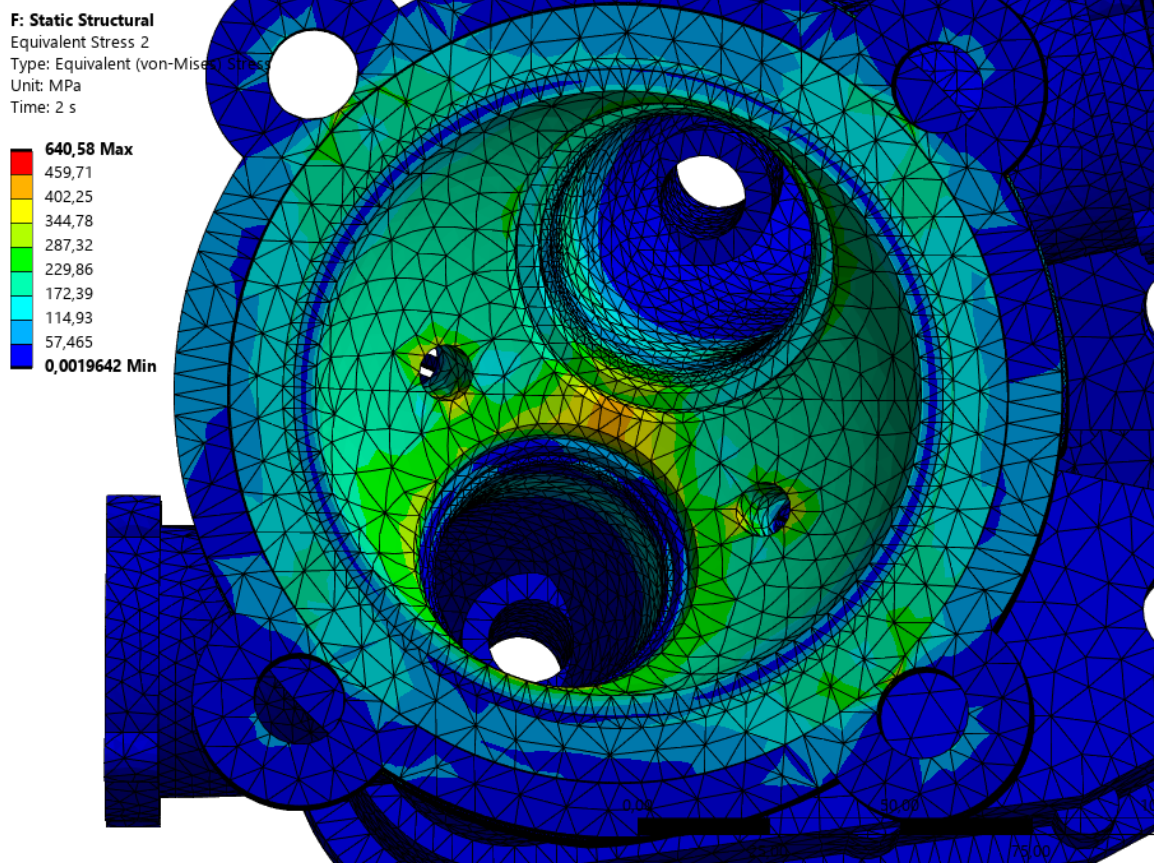
Time: 1, s

Unit: °C

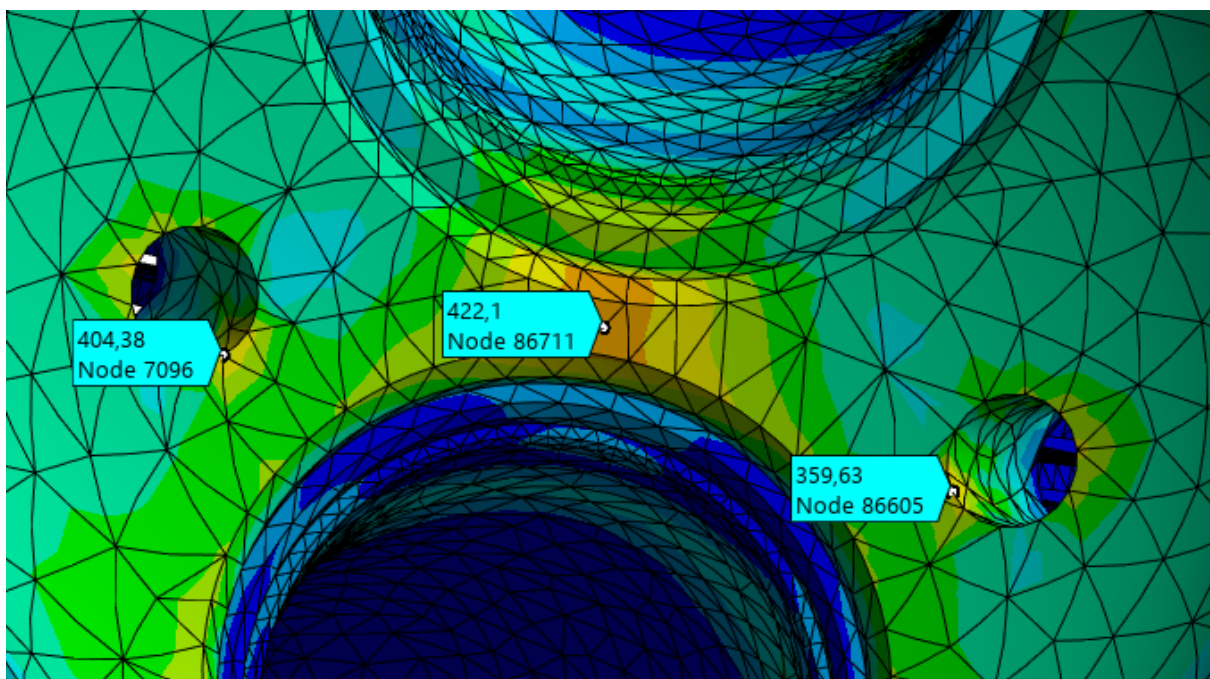


Obr. 71 Rozloženie teplôt na stenách hlavy valca modelu konceptu 3.1

Na uvedenom Obr. 70 a obr. 71 je znázornené rozloženie teplôt z pohľadu na spaľovací priestor. V oblasti dna hlavy valca sa dosahujú teploty približne 300 °C pričom šírenie tepla vychádza z plochy, na ktorú bola aplikovaná okrajová podmienka teploty, a postupne sa prenáša do ostatných častí hlavy valca. Možno konštatovať, že tieto výsledky sú dosť podobné ako pri výpočte predchádzajúceho modelu. Opäť najväčšia teplota je v okolí výfukového sedla a kanálu, čo zodpovedá očakávaniam. Zvýšené teploty sú aj v oblasti sviečky okolo 320 °C. Rovnako tu bola aplikovaná okrajová podmienka z kade sa teplo šíri. Možno konštatovať, že vypočítané hodnoty odpovedajú skutočnému tepelnému namáhaniu.

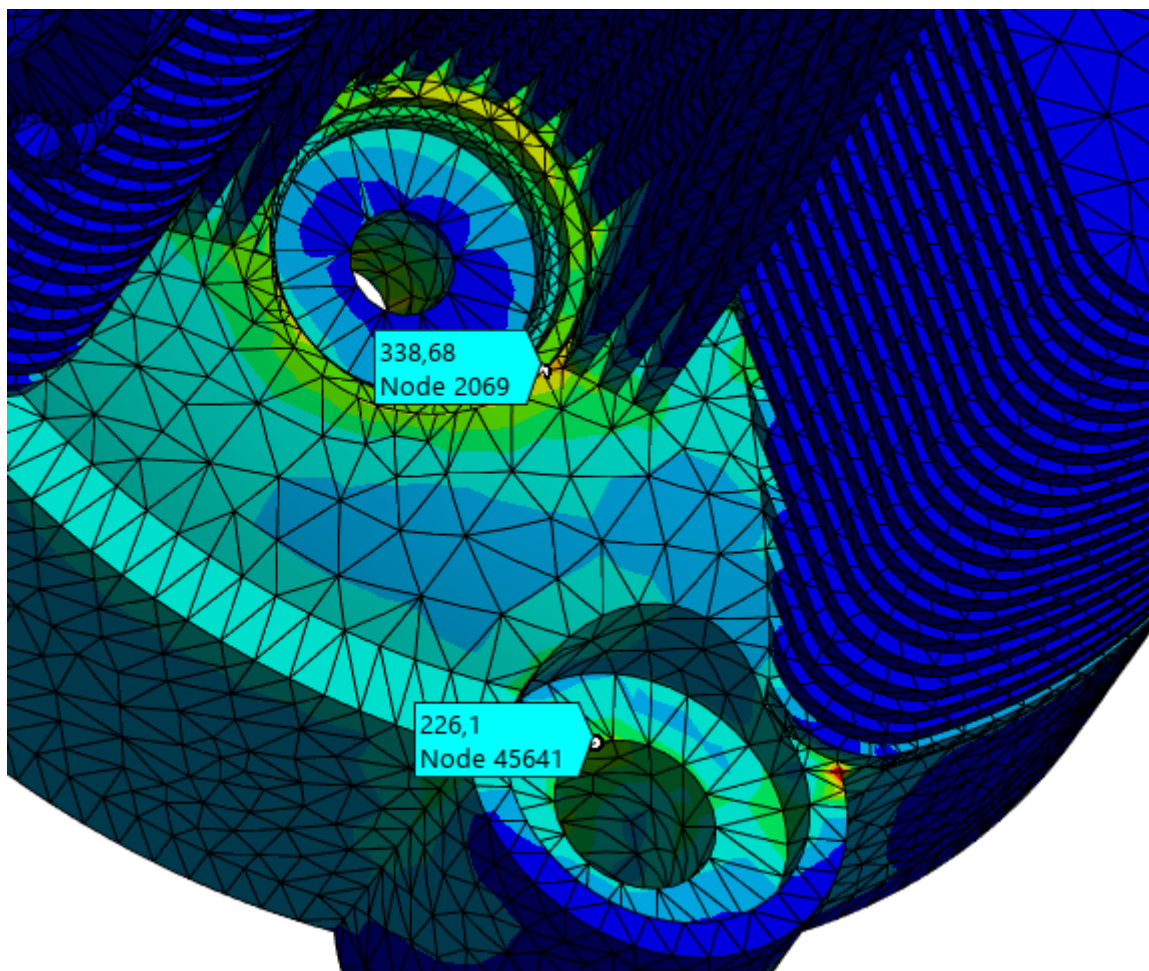


Obr. 72 Rozloženie napätia na spodnej časti hlavy valca modelu konceptu 3.1



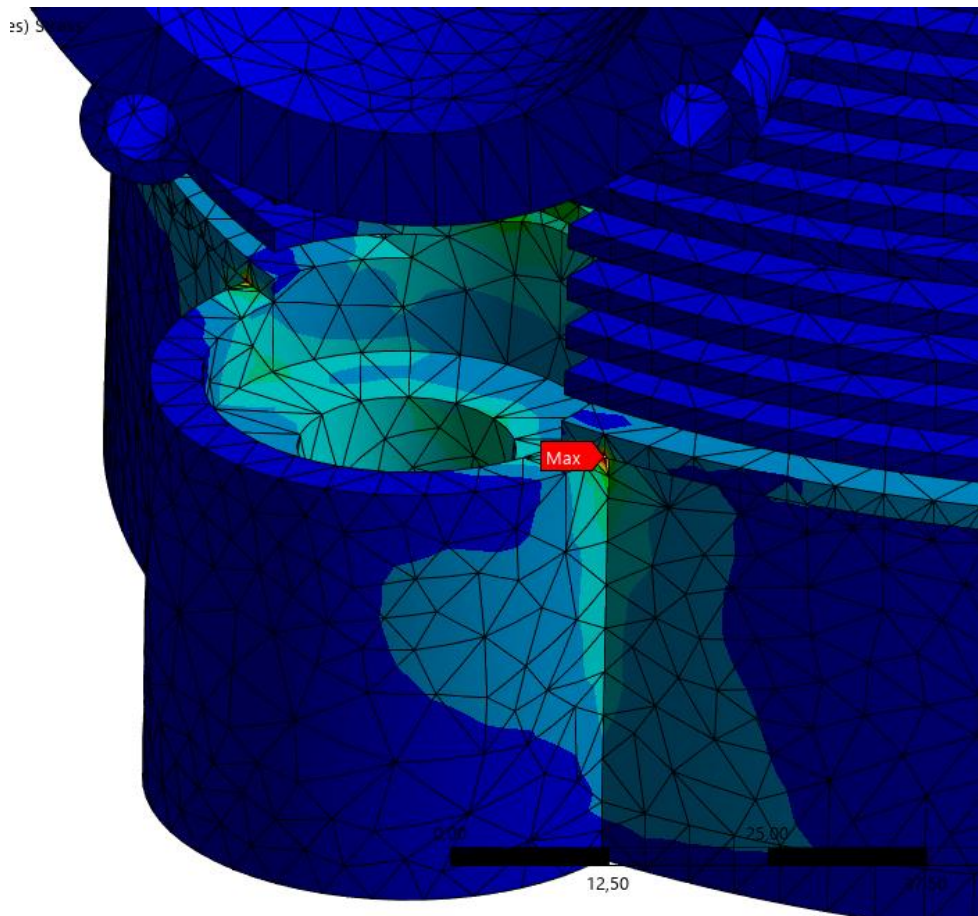
Obr. 73 Maximálne hodnoty napätia v kritických oblastiach modelu konceptu 3.1

Podobne ako pri pevnostnom výpočte prvého modelu na obr. 72 a obr. 73 je zrejme že kritická oblasť je miestach sviečok a mostík medzi sacím a výfukovým kanálom. Hodnoty napätia vychádzajú taktiež podobne ako na predchádzajúcom modeli. Pri tejto hlave v oblasti sviečky môžeme pozorovať, že tu nie je rádius čo mohlo mierne navýšiť napätie.



Obr. 74 Maximálne hodnoty napätia v oblasti sviečky a dosadacej plochy šrouby modelu konceptu 3.1

Obr. 74 zachytáva napätie, na povrchu hlavy. V oblasti rebrovania sa vyskytuje maximálne napätie s hodnotou 338 MPa. Ide o miesto kde nie je žiadne zaoblenie ani skosenie, práve preto na hrane v elemente sa môže koncentrovať napätie. Pravdepodobne lokálny nárast napätia by bolo možné odstrániť zjemnením siete, skosením hrany alebo zaoblením. Maximálne napätie, ktoré sa vyskytuje na hrane dosadacej plochy pre šrouby je 226 MPa. V tomto mieste taktiež nie je skosenie ani zaoblenie. Taktiež predpokladám, že toto napätie by sa práve touto geometrickou úpravou ešte mohlo znížiť.



Obr. 75 Maximálna hodnota napätia na ostrej hrane modelu konceptu 3.1

Maximálna hodnota napätia na obr. 75 je opäť ako pri modeli predtým, na vonkajšej strane. Keď sa na toto miesto pozrieme z bližšieho pohľadu, je zrejmé, že na tomto mieste ostrá hrana modelu chýba zaoblenie. Ansys tu deteguje zvýšenú koncentráciu napätia.

Napätie na tomto mieste však nemusíme brať do úvahy a možno konštatovať, že toto napätie nemá vplyv na životnosť súčasti. Napätie by sa dalo znížiť zjemnením siete, alebo zaoblením modelu, ale zase sa nám zvýši počet elementov a uzlov a tým sa zvýši aj potrebný čas na výpočet.

ZÁVER

Hlavným cieľom diplomovej práce bolo vytvorenie konštrukčného návrhu hlavy valca Tatra na spaľovanie vodíka.

V teoretickej časti som sa venoval problematike vodíka ako paliva pre spaľovacie motory a palivové články. Ďalej som sa zamerlal na proces výroby, skladovanie a distribúciu vodíka. V stručnosti som popísal jeho vlastnosti, ktoré ovplyvňujú spaľovanie a funkčnosť motora. Následne som prešiel na rozbor hlavy valca a konštrukčných komponentov z ktorých sa skladá. V poslednej teoretickej časti som spravil krátky rozbor naftového spaľovacieho motora Tatra T3x – 928.

V Praktickej časti som sa prvotne pustil do úpravy hlavy Tatra, v ktorej som prerobil oblasť vstrekača na zapaľovaciú sviečku a do boku spaľovacieho priestoru umiestnil ďalšiu sviečku, ktorá má slúžiť lepšiemu zažehnutiu zmesi paliva. Následne som vytvoril konštrukčný návrh novej hlavy, na spaľovanie vodíka. Vlastný návrh však spočiatku nevyhovoval stanoveným požiadavkám a z hľadiska koncepcie vykazoval viaceré nedostatky. Preto po konzultácií s vedúcim som sa rozhodol, že vytvorím nový model, ktorý bude vychádzať z leteckej hlavy. Konštrukčný návrh bol vytvorený v programe Creo Parametric. Hoci model má určité konštrukčné nedostatky, z hľadiska vývojového štádia a pre počiatočné výpočty je dostačujúci.

Pokračovalo sa pevnostnými výpočtami, ktoré prebiehali v programe Ansys Mechanical. Do programu sa nahral model, ktorému sa dala vygenerovať sieť. Ansys však detegoval chybu v miestach kde sa nachádzala nedokonalá geometria. V týchto miestach musela byť geometria upravená. Až potom sa mohli zadať okrajové podmienky a definovať kontaktné väzby. Všetky okrajové podmienky a kontaktné väzby boli v práci popísané a odôvodnené.

V práci boli vyhodnotené pevnostné výpočty dvoch modelov. Upravená hlava Tatry a Model s vlastnou koncepciou. V práci boli zistené kritické miesta v oblasti sediel ventilov, sviečkami a mostíkmi medzi nimi. Hodnoty napätia boli podrobne zanalyzované, spísané a nakoniec odôvodnené.

V poslednej praktickej časti bola snaha o zníženie napätia v kritických oblastiach, ktoré sa nachádzajú v spaľovacom priestore a ktoré boli počas výpočtu zaznamenané. Na upravenej hlave Tatra bola zväčšená hrúbka steny medzi sedlami ventilov. Tým sa zároveň rozšíril mostík medzi sviečkou a sedlami ventilov. Predpokladalo sa, že touto úpravou sa napätie môže znížiť. Po analýze napätí v tejto oblasti sa zistilo, že napätie pokleslo v oblasti sviečky, no napätia v oblasti sediel ventilov ostávajú bez výrazných zmien. V rámci diplomovej práce sa podarilo splniť všetky požadované ciele.

V ďalšej časti vývoja by som odporučil nasledovné: Z konštrukčného hľadiska by určite bolo vhodné aj v druhom modeli zrealizovať vylepšenia v oblasti mostíka medzi sedlami ventilov, za účelom zníženia napätia v týchto kritických oblastiach. Sviečkam by som pridal zaoblenie zo spodnej strany spaľovacieho priestoru, podobne ako je to na koncepte č. 2. Zaoblenia by mohli zmenšiť napätia v tejto oblasti. Z hľadiska tepelnej vodivosti a chladenia hlavy by som odporučil prerobiť rebrovanie. Vertikálne rebrá, ktoré sú umiestnené nad oboma sviečkami sú príliš dlhé, ich účinnosť je nízka. a teda je zbytočne hlave modelu pridávať na hmotnosti. Ďalej by bolo zaujímavé sa pozrieť na pevnostnú analýzu zaťaženia hlavových šroubov.

POUŽITÉ INFORMAČNÉ ZDROJE

- [1] ZASTÚPENIE NA SLOVENSKU. *Automobilový priemysel sa musí dívať do budúcnosti, nie do spätného zrkadla*. Online. Zastúpenie na Slovensku. 2022. Dostupné z: https://slovakia.representation.ec.europa.eu/news/automobilovy-priemysel-sa-musi-divat-do-buducnosti-nie-do-spatneho-zrkadla-2022-12-20_sk. [cit. 2025-05-20].
- [2] KOČIŠ, Marián. *Automobilový priemysel sa zmení. S nami, alebo bez nás*. Online. Erstegroup. 2024. Dostupné z: <https://www.erstegroup.com/en/research/report/sk/SR409981>. [cit. 2025-05-20].
- [3] HAMAAD, Ahmed Sayed Ahmed Ahmed; TAWFIK, Mohamed; KHATTAB, Sherine a NEWIR, Ahmed. Device for Using Hydrogen Gas as Environmental Friendly Fuel for Automotive Engine (GREEN & ECO H 2). Online. *Procedia Environmental Sciences*. 2017, roč. 37, s. 564-571. ISSN 18780296. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.043>. [cit. 2025-05-20].
- [4] BLOMEN, Leo J. M. J. a MUGERWA, Michael N. *Fuel cells systems*. Plenum Press, 1993. ISBN 0306441586.
- [5] , Vuong Dinh Trung; , Phi Long Nguyen; , Thi Viet Bac Phung; , Jun Natsuki a , Toshiaki Natsuki. *The current status of hydrogen energy: an overview*. Online. RSC Advances (RSC Publishing). 2023. Dostupné z: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2023/ra/d3ra05158g>. [cit. 2025-05-20].
- [6] WIKIPÉDIE, Prispievatelia. *Henry Cavendish*. Online. In: Wikipédia, Slobodná encyklopédia. Dostupné z: https://sk.wikipedia.org/wiki/Henry_Cavendish. [cit. 2025-05-20].
- [7] ADDEPALLI, Srinivasa Krishna; PEI, Yuanjiang; ZHANG, Yu a SCARCELLI, Riccardo. Multi-dimensional modeling of mixture preparation in a direct injection engine fueled with gaseous hydrogen. Online. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2022, roč. 47, č. 67, s. 29085-29101. ISSN 03603199. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.06.182>. [cit. 2025-05-20].
- [8] WIKIPEDIE, Prispěvatelé. *Vodík*. Online. In: Wikipedie: Otevřená encyklopedie. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Vod%C3%ADk>. [cit. 2025-05-20].
- [9] ČERNÝ, František. *Kontrola namáhání hlavy válce vodíkového zkušebního motoru*. Bakalářská práce. Praha: FAKULTA STROJNÍ ČVUT V PRAZE, 2024.
- [10] VERHELST, Sebastian a WALLNER, Thomas. Hydrogen-fueled internal combustion engines. Online. *Progress in Energy and Combustion Science*. 2009, roč. 35, č. 6, s. 490-527. ISSN 03601285. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2009.08.001>. [cit. 2025-05-20].
- [11] NATIONAL ALTERNATIVE FUELS TRAINING CONSORTIUM, *Hydrogen fuel cell engines and related technologies: Module 3 – Hydrogen use in internal combustion engines*. Rev. 0. Morgantown (WV): West Virginia University, December 2001 [cit. 2025-05-20].



- [12] MÁRTENSSON, Lars. *Vodíkové palivové články: Odpovědi na všechny vaše otázky*. Online. Volvotrucks. 2020. Dostupné z: <https://www.volvotrucks.cz/cs-cz/news/postrehy/articles/2020/jun/Vodikove-palivove-clanky-odpovedi-na-vsechny-vase-otazky.html>. [cit. 2025-05-20].
- [13] HAYDARY, Juma. *VÝROBA PALÍV*. Online. MINISTERSTVO ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA SLOVENSKEJ REPUBLIKY. Enviroportal. 2023. Dostupné z: <https://www.enviroportal.sk/dokument/f/vyroba-paliv.pdf>. [cit. 2025-05-23].
- [14] *O vodíku*. Online. Národná vodíková asociácia Slovenska. Dostupné z: <https://nvas.sk/o-vodiku/>. [cit. 2025-05-23].
- [15] TICHÝ, Pavel. *Základní informace k vodíku*. Online. Hytep. Dostupné z: <https://www.hytep.cz/o-vodiku/ve-zkratce>. [cit. 2025-05-20].
- [16] Moses Omolayo Petinrin; OMOLAYO PETINRIN, Moses; BOLAJI ADEBAYO, Moshood a TOYOSI ADELOWOKAN, Adeniji. *A Review on Hydrogen as a Fuel for Automotive Application*. Online. Vydavateľ nenájdený. 2014. Dostupné z: <http://article.sapub.org/10.5923.j.ijee.20140404.02.html>. [cit. 2025-05-20].
- [17] POPELKA, Josef. *Přeplňovaný vodíkový motor 1,2 HYTD*. Online, diplomové práce. 2010. Dostupné z: <https://dspace.tul.cz/handle/15240/148853>. [cit. 2025-05-20].
- [18] Devinn. *Využití vodíku v automobilech*. Online. Devinn. 2019. Dostupné z: <https://www.devinn.cz/blog/vyuziti-vodiku>. [cit. 2025-05-20].
- [19] ŠRUBAŘOVÁ, Petra. *Jak fungují palivové články?* Online. TZB-info. 2018. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/elektromotory-pohony-a-stroje/16987-jak-funguji-palivove-clanky>. [cit. 2025-05-20].
- [20] VERHELST, S a SIERENS, R. Hydrogen engine-specific properties. Online. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2001, roč. 26, č. 9, s. 987-990. ISSN 03603199. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0360-3199\(01\)00026-X](https://doi.org/10.1016/S0360-3199(01)00026-X). [cit. 2025-05-20].
- [21] DHYANI, Vipin a SUBRAMANIAN, K.A. Fundamental characterization of backfire in a hydrogen fuelled spark ignition engine using CFD and experiments. Online. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2019, roč. 44, č. 60, s. 32254-32270. ISSN 03603199. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.10.077>. [cit. 2025-05-20].
- [22] SPENCER, D.F. *Hydrogen Fuel Cell Engines and Related Technologies*. Morgantown (WV): National Alternative Fuels Training Consortium, West Virginia University, 2001. Report No. NAFTC-2001-01. Dostupné z: <https://doi.org/10.2172/95252>. cit. 2025-05-20].
- [23] AL-BAGHDADI, Maher A.R.Sadiq a AL-JANABI, Haroun A.K.Shahad. A prediction study of a spark ignition supercharged hydrogen engine. Online. *Energy Conversion and Management*. 2003, roč. 44, č. 20, s. 3143-3150. ISSN 01968904. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(03\)00127-4](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(03)00127-4). [cit. 2025-05-20].

- [24] VERHELST, Sebastian; BILLIOUW, Christophe; TRENSON, Arne a SIERENS, Roger. *Effects of Supercharging, EGR and Variable Valve Timing on Power and Emissions of Hydrogen Internal Combustion Engines*. Online. JSTOR. 2009. Dostupné z: <https://www.jstor.org/stable/26308309>. [cit. 2025-05-20].
- [25] PECHOUT, Martin. *Spalovací motory – základní přehled*. Praha ČZU, 2019. ISBN 978-80-213-2984-3.
- [26] VLK, F. *Vozidlové spalovací motory*. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-238-8756-4.
- [27] LESÁK, T. Hlava zkušebního jednoválcového motoru. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 75 s. Vedoucí diplomové práce Ing. David Svída, Ph.D.
- [28] BAUMRUK, Pavel. Problematika náplně válce spalovacích motorů. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1996.
- [29] JAWAD, Badih a ARSLA, Selin. *Cylinder Head Intake Flow Analysis*. Online. JSTOR. 2013. Dostupné z: <https://www.jstor.org/stable/26272804>. [cit. 2025-05-20].
- [30] RAUSCHER, Jaroslav. *Vozidlové motory*. FSI VUT, Brno 1996
- [31] ŠKRABAL, Martin. *ŘÍZENÍ ZAPALOVÁNÍ A VSTŘIKOVÁNÍ PALIVA VE SPALOVACÍCH MOTORECH*. Bakalárska práca. Brno: VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, 2009.
- [32] HUŠKA, Lukáš. *SOFTWARE PRO ŘÍZENÍ ZAPALOVÁNÍ A VSTŘIKOVÁNÍ SPALOVACÍCH MOTORŮ*. Diplomová práce. Brno: VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, 2010.
- [33] TSCHÖKE, Helmut, Horst BAUER (ed.) a Peter GIRLING (překl.). *Diesel-engine management: Diesel distributor fuel-injection pumps*. 4. Stuttgart: Robert Bosch GmbH, 1999.
- [34] *TATRA VÁS DOSTANE DÁL*. Online. Tatra. Dostupné z: <https://www.tatra.cz/proc-tatru/technicka-koncepce-tatra/motory/>. [cit. 2025-05-20].
- [35] ČERNÝ, František. *Kontrola namáhání hlavy válce vodíkového zkušebního motoru*. BAKALÁŘSKÁ PRÁCE. Praha: FAKULTA STROJNÍ ČVUT V PRAZE, 2024.
- [36] ZELINKA, Ján. *KONSTRUKČNÍ NÁVRH HLAVY KAPALINOU CHLAZENÉHO SPALOVACÍHO MOTORU MOTOCYKLU*. Diplomová práce. Liberec: TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI, 2021.S
- [37] *FANNING THE FLAMES*. Online. Vydavatel' nenájdenny. 1987. Dostupné z: <https://berlinasportivo.com/magazine/engineering/twinspace.pdf>. [cit. 2025-05-21].
- [38] *DEUTZ TCD 2015 Series (Tier 3) Diesel Engine*. Online. DEUTZ Power Centers. Dostupné z: <https://www.deutzsupport.com/product-details/tcd-2015-series-tier-3/>. [cit. 2025-05-21].

- [39] MOTORSERVIS ŠVEC S.R.O. *Spark plug IVECO STRALIS CURSOR 13 CNG 5802771787 Iveco Stralis, S-way, CURSOR 13 CNG 5802771787*. Online. MOTORSERVIS Švec s.r.o. Dostupné z: <https://www.motorservis.eu/spark-plug-iveco-stralis-cursor-13-cng-5802771787-iveco-stralis-s-way-cursor-13-cng-5802771787-p257151/>. [cit. 2025-05-22].
- [40] HEYWOOD, J. B. *Internal Combustion Engine Fundamentals*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill Education, 2018. ISBN 978-1-260-11310-9
- [41] THIEL, Wolfgang a HARTMANN, Karl. Possible Influences on Fuel Consumption Calculations while using the Hydrogen-Balance Method. Online. *SAE International Journal of Engines*. 2009, roč. 1, č. 1, s. 669-678. ISSN 1946-3944. Dostupné z: <https://doi.org/10.4271/2008-01-1037>. [cit. 2025-05-22].
- [42] ŠPANIEL, Miroslav – MACEK, Jan – DIVIŠ, Marcel – TICHÁNEK, Radek. Diesel engine head steady state heat analysis. CTU in Prague, Technická 4, 166 07 Prague, CR. [cit. 2025-05-22].
- [43] DIETSCHE, Karl-Heinz a REIF, Konrad. *Automotive handbook*. 11th edition. Karlsruhe: Bosh, 2022. ISBN 1119911907.
- [44] *Thermal Conductivity of Common Materials - Solids, Liquids and Gases*. Online. Engineeringtoolbox. Dostupné z: https://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html. [cit. 2025-05-22].
- [45] YAMAGATA, Hiroshi Y. *The Science and Technology of Materials in Automotive Engines*. Woodhead Publishing, 2005. ISBN 978-1-85573-742-6.

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV

ρ	[kg·m ⁻³]	Hustota
M	[g·mol ⁻¹]	Molárna hmotnosť
H	[MJ·kg ⁻¹]	Výhrevnosť
T	[°C]	Teplota
ρ	[kg·m ⁻³]	Hustota
λ	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	Tepelná vodivosť
α	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	Prestup tepla