



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

HLAVA MOTORU PRO SPALOVÁNÍ M100

ENGINE HEAD DESIGNED TO BURN M100 FUEL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Matouš Beran

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. David Svída, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Matouš Beran**
Studijní program: Základy strojního inženýrství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. David Svída, Ph.D.**
Akademický rok: 2023/24

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 bakalářské práce:

Hlava motoru pro spalování M100

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Palivo M100 (téměř 100% metanol) je jedno z možných alternativních paliv pro spalovací motory. Oproti benzínu má určité výhody a nevýhody, ale v zásadě může benzín ve spalovacích motorech úspěšně nahradit. Pro nákladní dopravu je ovšem nutné upravit stávající konstrukci velkoobjemových vznětových motorů.

Cíle bakalářské práce:

Rozbor vlastností paliva metanol M100 při použití ve spalovacích motorech. Rozbor požadavků na konstrukci hlav válců umožňující spalování paliva M100.

Pro zadaný vznětový motor o objemu 13 litrů navrhnout konstrukční úpravu hlavy válců, které budou odpovídat potřebám paliva M100.

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 bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá palivem M100 a úpravou hlavy vznětového motoru o objemu 13 litrů. Aby práce byla úspěšná, byla provedena rešerše vlastností paliva M100. U vznětového motoru muselo být nalezeno místo pro uložení zážehové svíčky a následně zvolena vhodná zážehová svíčka. Dále bylo potřeba hlavu motoru upravit pro vlastnosti paliva M100. Práce je rozdělena na vlastnosti paliva M100, vybrání vhodné zážehové svíčky, úpravy hlavy motoru a pístu. Pro dané řešení je dále vytvořen model v programu Lotus Engine Simulation.

KLÍČOVÁ SLOVA

M100, hlava motoru, zážehová svíčka

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the M100 fuel and the modification of a 13 litre diesel engine head. In order to make the thesis successful research of the properties of M100 fuel was carried out. For the diesel engine, the location of the spark plug had to be found and then a suitable spark plug had to be selected. Furthermore, the engine head had to be modified for the properties of M100 fuel. The work is divided into the properties of the M100 fuel, selecting a suitable spark plug, and modifying the engine head and piston. A model is also created for the given solution in Lotus Engine Simulation.

KEYWORDS

M100, cylinder head, spark plug

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BERAN, Matouš. *Hlava motoru pro spalování M100*. Online, bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství, 2024. Vedoucí práce David Svída. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/157956>.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. David Svídy, Ph.D., a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 25. května 2024

.....

Matouš Beran

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu práce Ing. Davidu Svídovi, Ph.D., za poskytnuté podklady, rady a připomínky při zpracování práce.

OBSAH

Úvod	10
1 Methanol (methylalkohol)	11
1.1 Výroba methanolu	11
1.2 Výhody methanolu	11
1.3 Nevýhody methanolu.....	12
1.4 Methanol v motorech jako palivo.....	12
2 Letecké motory 2. světové války	13
3 Zapalovací svíčka	14
3.1 Funkčnost	14
3.2 Historie	15
3.3 Odolnost	15
3.4 Provozní pásmo	16
3.5 Jiskřiště	17
3.6 Tvar elektrod.....	18
3.7 Studené starty	19
3.8 Typy svíček	20
3.9 Vybraní vhodné svíčky	21
4 Úprava hlavy motoru	23
4.1 Parametry pro nové vložky.....	24
4.2 Prototyp 1	25
4.3 Copper-beryllium	26
4.4 Prototyp 2	27
4.5 Prototyp 3	28
5 Úprava pístu	29
5.1 Vznětový (naftový) píst	29
5.2 Zážehový (benzinový) píst	30
5.3 Výpočet odebraní materiálu.....	31
5.4 Program pro návrh a výpočet spalovacích motorů	33
5.4.1 Wiebův model hoření	34
5.4.2 Spalování a přenos tepla	35
5.5 Simulace	36
5.6 Výpočet napětí v pístu	38
Závěr	40
Použité informační zdroje	41
Seznam použitých zkratk a symbolů	43

ÚVOD

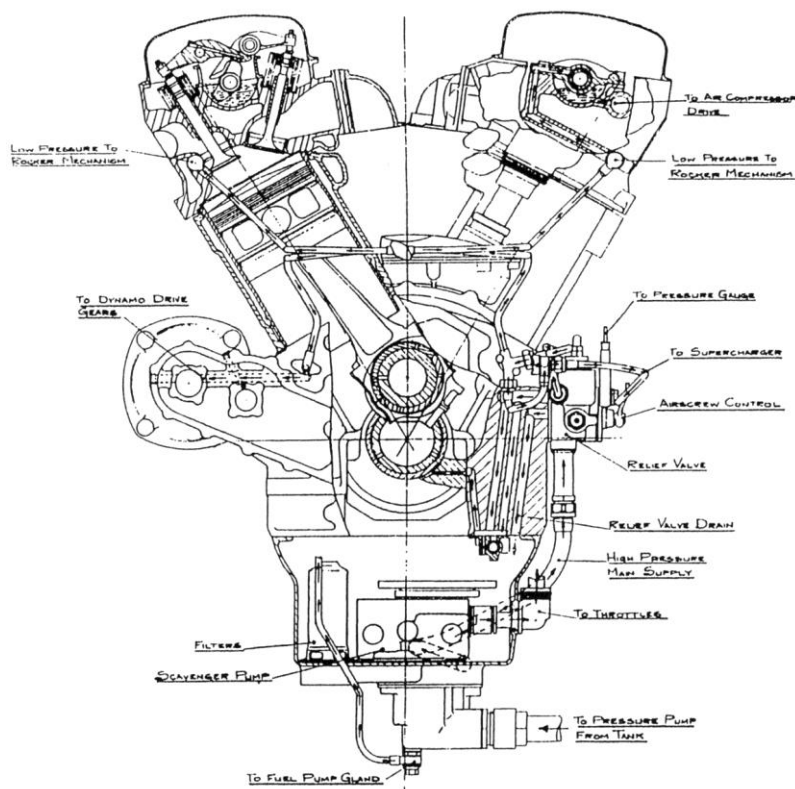
Snaha docílení uhlíkové neutrality a zvyšování požadavků na emisní normy u automobilů vede k hledání alternativních pohonů a paliv pro automobily. Pro malé automobily se jako alternativa může zdát vhodným elektrický pohon, ale pro nákladní automobily je to již nedostačující řešení.

Nynější nákladní automobily využívají velkoobjemový vznětový spalovací motor, který do budoucna již nebude moci plnit vyšší emisní normy, a proto je výzkum v oblasti alternativních paliv velice aktuální a opodstatněný.

Jednou z těchto alternativ by mohlo být palivo M100 neboli čistý methanol, ten ale pracuje na zážehovém spalovacím cyklu, a proto by musely být přepracovány dnešní velkoobjemové vznětové motory na zážehové motory.

Palivo M100 se používá jen zřídka, a to většinou pro závodní účely. Jedná se, ale o velmi dobrou alternativu k typickým fosilním palivům, která by vedla k rapidnímu snížení emisí u dnešních nákladních automobilů a k ponechání spalovacích motorů v nákladních automobilech.

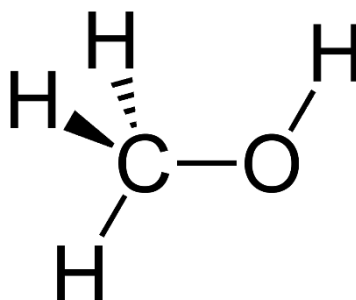
Problém s velkoobjemovými zážehovými motory je ten, že se již dlouhou dobu nevyrobí, naposledy byly využity za druhé světové války v leteckém průmyslu. Proto snaha přepracovat vznětový motor na zážehový by se inspirovala právě leteckými motory z druhé světové války. Na *obr. 1* lze vidět řez motorem Merlin.



Obr. 1 Řez motorem Merlin od Rolls Royce [17]

1 METHANOL (METHYLALKOHOL)

Je nejjednodušší alifatický alkohol, jedná se o bezbarvou alkoholický páchnoucí kapalinu. Je těkavý, hořlavý a silně jedovatý [1]. Methanol je jedna z nejpoužívanějších chemických látek světově. Poptávka po methanolu celosvětově roste. Většinou je dražší zelený methanol oproti methanolu vyrobenému z fosilních paliv. Výroba methanolu v roce 2015 byla 125 milionů metrických tun, z toho bylo zeleného methanolu pouze 1 milion. Cena methanolu je srovnatelná s cenou benzínu, ke snížení ceny by vedlo snížení jeho čistoty, protože dnes většina methanolu je využívána pro chemický průmysl, který pracuje s čistotou 99,85 %. Pro spalovací motory by stačila čistota methanolu okolo 90 % [4]. Chemický vzorec methanolu lze vidět na *obr. 2*.



Obr. 2 Chemický vzorec methanol [1]

1.1 VÝROBA METHANOLU

Malé množství methanolu (zeleného) vzniká při alkoholovém kvašení [3]. Průmyslově se získává z katalytické hydrogenace oxidu uhelnatého z vodní páry [1]. Další možnosti výroby jsou například z uhlí nebo zemního plynu. V tomto případě se ale nejedná o zelený methanol, protože vzniká z fosilního zdroje. Methanol lze také vyrábět z geotermálního zdroje nebo z CO jako odpadní látky z továren.

1.2 VÝHODY METHANOLU

Mezi největší výhodu methanolu patří jeho jednoduché skladování, nechá se skladovat při atmosférickém tlaku a teplotě, což s ostatními alternativními palivy není možné [2]. Oproti benzínu má vyšší oktanové číslo, které umožňuje zvedat tlak a teplotu ve válci u zážehových motorů [6]. Následně má methanol velmi dobrou výparnost, proto při vypařování pomáhá ochlazovat motor. Vede to k dalšímu možnému navýšení tlaku a teploty ve válci [5]. Díky těmto vlastnostem lze u zážehových motorů zvýšit kompresní poměr a navrhnout novější a ekonomičtější spalovací motory. Oproti klasickým fosilním palivům nemá methanol žádné dlouhé uhlovodíkové řetězce. Navíc obsahuje atom kyslíku, který pomáhá hoření. To vše vede ke snížení nežádoucích emisí, a to o desítky procent. Konkrétně emise SO_x se sníží až o 99 % a emise No_x asi o 60 % [2].

1.3 NEVÝHODY METHANOLU

Mezi hlavní nevýhodu methanolu ve vznětových motorech je jeho nízké cetanové číslo, tudíž se methanol nepoužívá ve vznětových motorech, pokud nedojde k úpravě konstrukce motoru [5]. Touto úpravou je myšlena přestavba vznětového motoru na zážehový. Methanolvý motor může při nedokonalém spalování vytvářet kyselinu octovou a formaldehydy, obě tyto látky jsou nežádoucí a je třeba se jim vyhnout. Methanol je velmi suchá kapalina, která nemá dostatečné mazací vlastnosti, proto se do něj jako do paliva musejí přidávat vhodná aditiva, která zlepšují jeho mazací vlastnosti [4]. Methanol se může vypařovat již v palivovém potrubí, kde je to však nežádoucí. Na rozdíl od benzínu a nafty je methanol polární molekulou a z toho důvodu může způsobit korozi vůči jednotlivým kovům a slitinám, dále napomáhá křehnutí elastomerům a polymerům. Všechny tyto materiály se hojně vyskytují v palivovém systému [4]. Vlastnosti paliv jsou popsány na *obr. 3* a *obr. 4*.

Vlastnosti nafty a metanolu.

Vlastnosti	Diesel	Metanol
Hustota při 20° C (kg/m ³)	819.8	790
Nízké výhřevnosti (MJ/kg)	42.5	19.7
Obsah C (%)	86	38
Obsah H (%)	13	12
Obsah O (%)	-	50
Síra (mg/kg)	6	0
Teplota samovznícení (C°)	≈250	450
Latentní výparné teplo (kJ/kg)	250	1110
Cetanové číslo	54.7	3-5
Rozsah spalování (%)	1.4-7.6	5.5-26
Kinematická viskozita při 20° C (mm ² /s)	3.564	-

Obr. 3 Vlastnosti methanolu a nafty [5]

Hlavní fyzikálně-chemické vlastnosti paliva.

Vlastnosti paliva	M100	Benzin
Hustota (kg/m ³)	790	747
Nižší výhřevnost (MJ/kg)	19.68	43.02
Latentní výparné teplo (MJ/kg)	1.1	0.364
Stechiometrický poměr A/F (kg/kg)	6.5	14.7
Rychlost laminárního plamene (m/s)	0.52	0.51
Obsah kyslíku (wt%)	50	0
Antidetonační index ((RON + MON)/2)	102	89

Obr. 4 Vlastnosti methanolu a benzínu [6]

1.4 METHANOL V MOTORECH JAKO PALIVO

Čistý methanol hoří bezbarvým plamenem, což je rizikově nebezpečnější než typická paliva. Jinak je považován za bezpečnější palivo než benzín. Hoří pomaleji a hůře se zapaluje, ale produkuje pouze 1/8 tepla oproti benzínu [4].

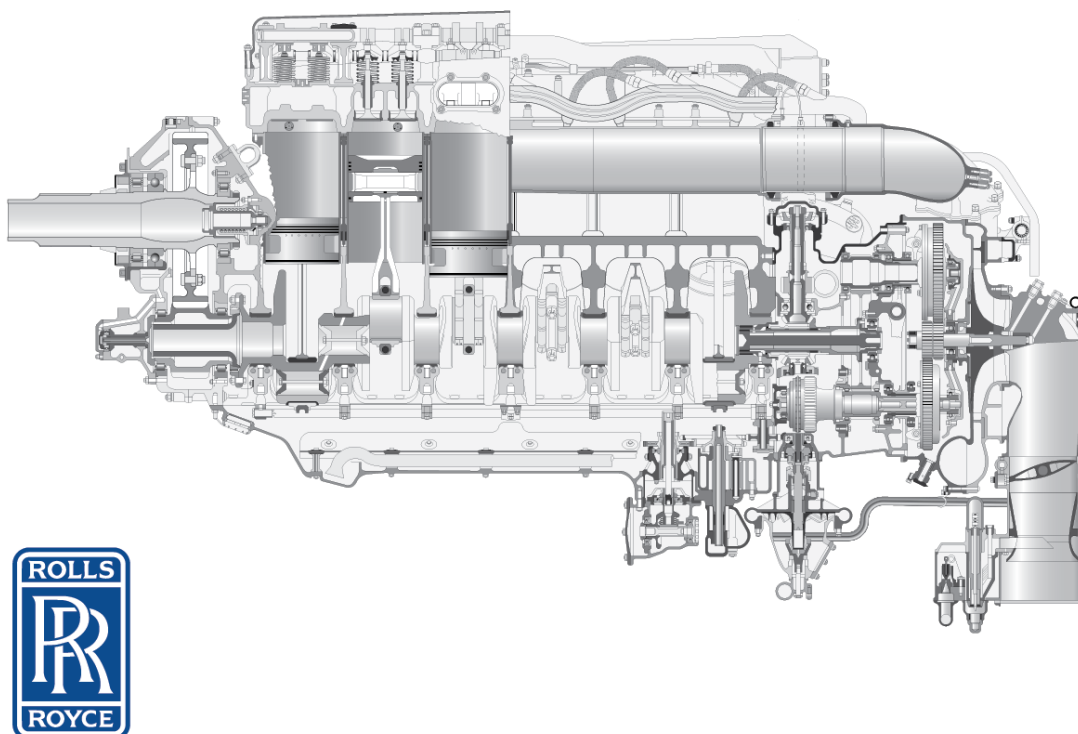
2 LETECKÉ MOTORY 2. SVĚTOVÉ VÁLKY

Významným motorem 2. světové války se stal motor Rolls-Royce Merlin. Jednalo se o dvanáctiválcový zážehový motor do V se zdvihovým objemem 27 000 cm³ a výkonem 1100 koní, pojmenovaným PV-12. Tento motor se vyráběl ve více jak 50-ti verzích. Pro jeho využití byly speciálně zkonstruovány letouny Supermarine Spitfire a Hawker Hurricane. Nepoškozené motory z havarovaných letadel byly následně upraveny a úspěšně použity také v tancích za 2. světové války [20]. Boční řez motorem Merlin na *obr. 5*.

Po 2. světové válce se začal vyrábět vznětový řadový šestiválec typu D2KT o objemu 11 950 cm³ inspirovaný motorem Rolls-Royce Merlin. Tento vznětový motor byl postupně upravován a montován do celé řady automobilů včetně současných [21].

Se vzrůstající potřebou řešit celosvětově emise výfukových plynů, vznikajících mimo jiné při spalování nafty, je třeba hledat jiná řešení. Jedním z nich se nabízí použití methanolu jako paliva. Úprava hlavy válce u vznětového motoru pro využití methanolu, byla předmětem této práce. Při navrhovaných alternativách se vycházelo právě z výše zmiňovaného leteckého motoru.

Další možností snižování emisí CO₂ v ovzduší, je použití vznětových motorů a jejich úprava na CNG palivo. Tohoto paliva se využívá zejména v hromadné dopravě v centrech měst.



Obr. 5 Boční řez motorem Merlin [18]

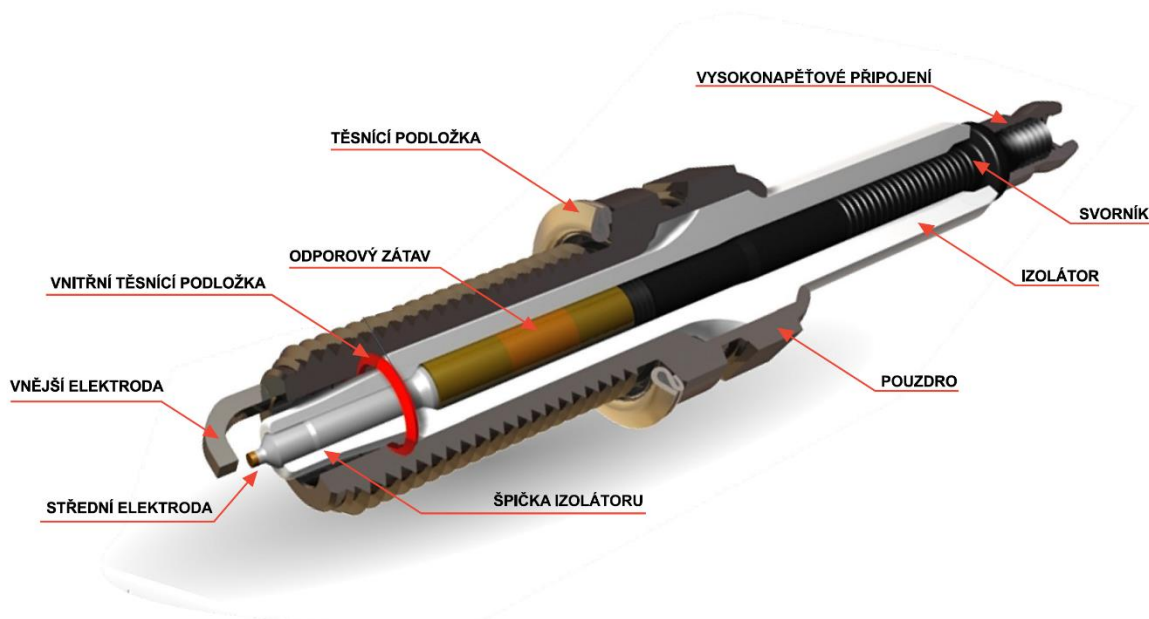
3 ZAPALOVACÍ SVÍČKA

Zapalovací svíčka je součástka zážehových motorů. Většinou je umístěna v hlavě motoru s vnitřním spalováním, kde zapaluje směs vzduchu a paliva, která se nachází ve válci. Zapalovací svíčka je pomocí zavitu spojena s hlavou motoru. Horní část svíčky zajišťuje přívod vysokého napětí ze zapalovacího systému na jiskřiště. Směs se zapálí pomocí jiskry od zapalovací svíčky v přesně daném okamžiku [7]. Řez zapalovací svíčkou lze vidět na *obr. 6*.

3.1 FUNKČNOST

Pro správnou funkčnost svíčky je nutné dodržet několik důležitých parametrů, které zaručují její správné fungování.

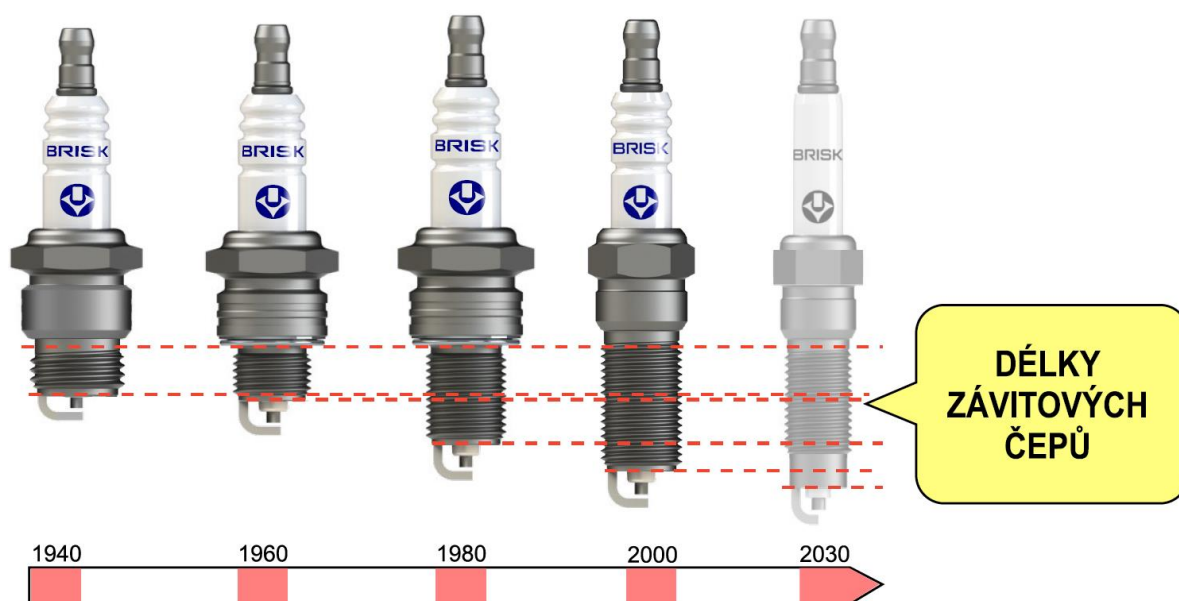
Svíčka musí být správně odizolovaná mezi kladnou a zápornou elektrodou, aby nedocházelo ke zkratům. Dále svíčka musí dostatečně rychle předat teplo vzniklé hořením dál do okolí, tak aby byly eliminovány jakékoliv nežádoucí samozápaly nebo předzápaly směsi. V neposlední řadě je důležité vhodné umístění jiskřiště svíčky takovým způsobem, aby nedocházelo k detenčnímu hoření či nedokonalému zápalu směsi [7]. Plamen ve válci by se měl vždy šířit rychle.



Obr. 6 Řez zapalovací svíčkou [7]

3.2 HISTORIE

Za dobu vývoje spalovacích motorů prošly i svíčky úpravou. Trend, který je pozorován u svíček, je zmenšování prostoru pro svíčky, z důvodu lepší tepelné bilance a také díky neustálému zmenšování objemů u motoru a tím pádem i zmenšování prostoru pro svíčku. Právě proto lze pozorovat vývoj zmenšování průměru závitů na svíčce a prodlužování závitového čepu [7]. Historický vývoj je vidět na obr. 7.



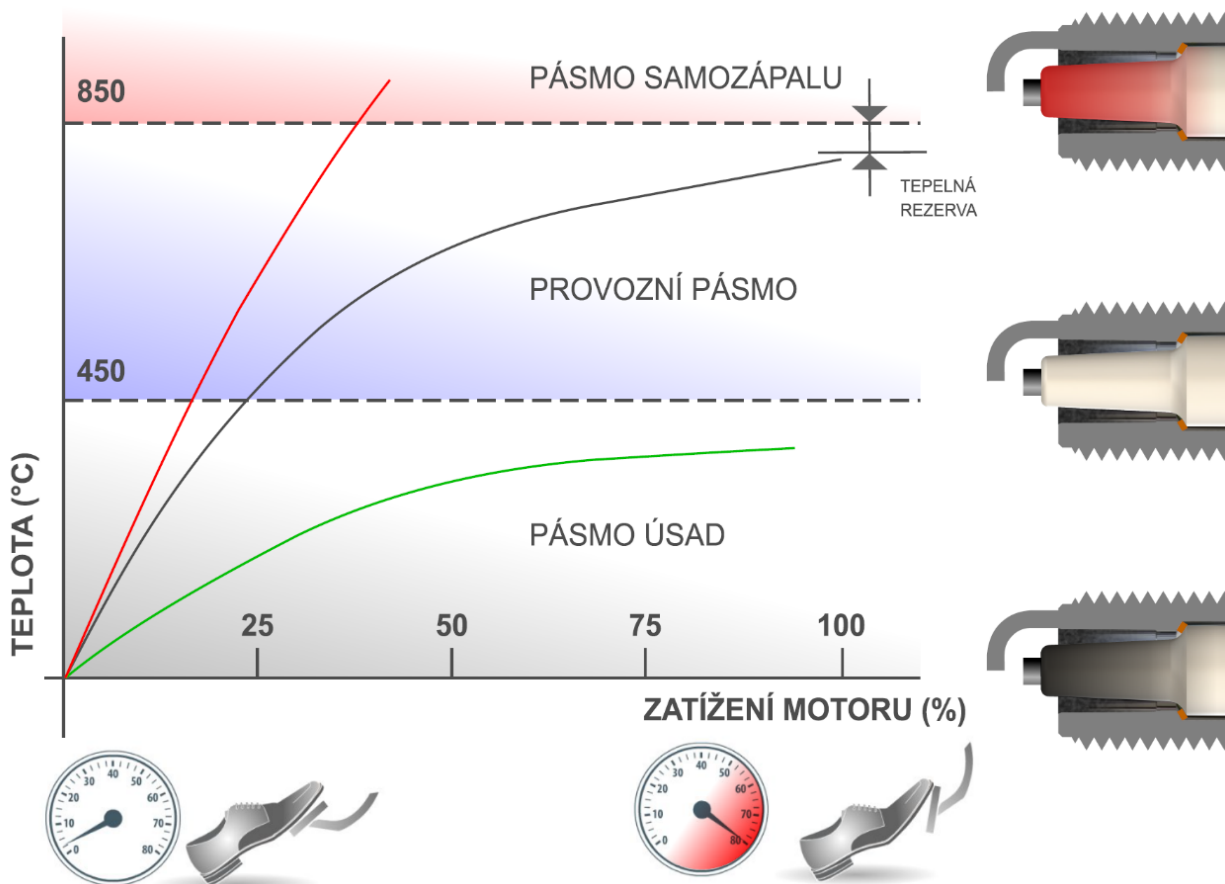
Obr. 7 Vývoj zapalovacích svíček [7]

3.3 ODOLNOST

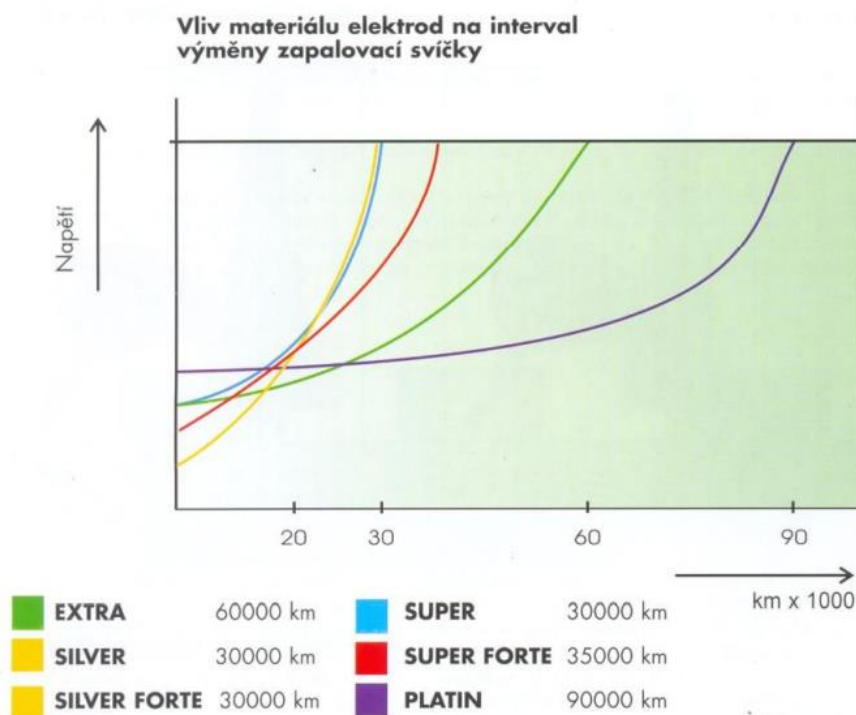
Svíčka je vystavena mnoha vnějším vlivům, kterým musí odolávat pro svůj správný chod. Zapalovací svíčky pracují ve vysokých teplotách, které se neustále mění v závislosti na cyklu, v němž se motor nachází. K teplotě se váže následně tlak, který se mění s cyklem motoru. Celou svíčkou prochází velké elektrické napětí až 35 000 V, a proto je nutná dostatečná izolace svíčky, což se s trendem zmenšujících průměrů závitů značně ztěžuje a je zapotřebí využívat materiály s lepšími izolačními vlastnostmi [7]. Svíčka musí také odolávat vibracím motorů. Špička svíčky neboli jiskřiště musí být chemicky odolné vůči chemickým vlivům, které vznikají při hoření paliva nebo nedokonalým hořením paliva či aditiv. Tyto látky se následně usazují na špičce izolátoru a snižují jeho izolační pevnost. V neposlední řadě musí svíčka odolávat usazeninám vzniklým z hoření, dokud nenastanou v provozu vhodné podmínky, za kterých dojde k samočištění svíčky a usazeniny shoří [8].

3.4 PROVOZNÍ PÁSMO

Pro zapalovací svíčku je nutné, aby se co nejvíce pohybovala v ideálním provozním pásmu. Tím se zvyšuje její životnost. Pokud se svíčka pohybuje v příliš nízkém zatížení, dochází k zanášení izolátoru svíčky usazeninami z hoření, které při dlouhodobém trvání a nemožnosti samočištění svíčky vedou k selhání zapalování u svíčky. Naopak při příliš vysokém zatížení svíčky začne docházet k samozápalům směsi ještě před jiskrou od svíčky, to vede k rapidnímu zvyšování teploty, což vede ke zničení svíčky nebo poškození motoru [7]. Tato závislost je vidět na *obr. 8*. Na *obr. 9* je ukázána životnost svíčky v závislosti na materiálu, ze kterého je vyrobena.



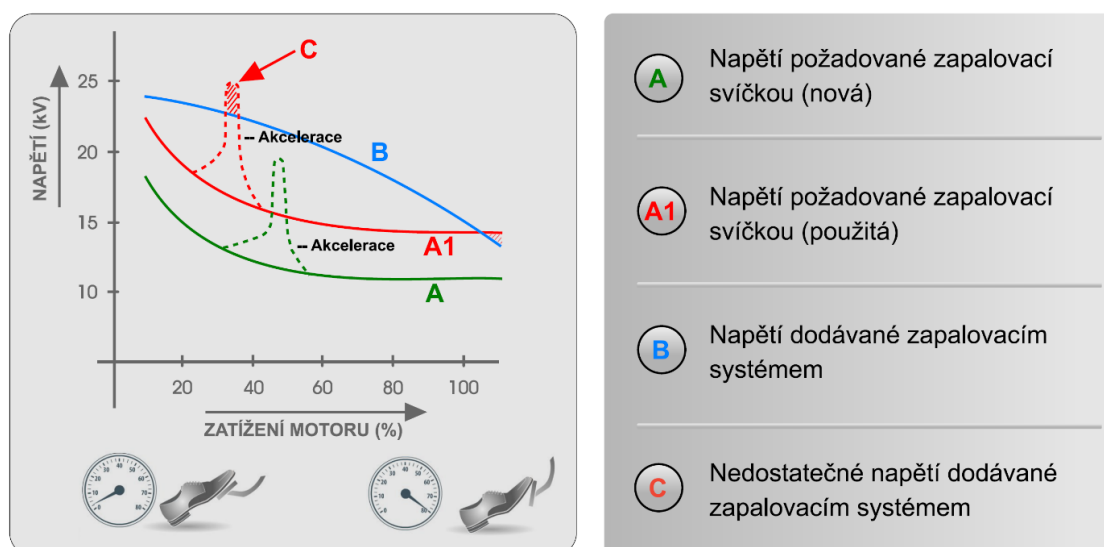
Obr. 8 Teplota svíčky v závislosti na zatížení motoru [7]



Obr. 9 Vliv materiálu svíčky na životnost svíčky [8]

3.5 JISKŘIŠTĚ

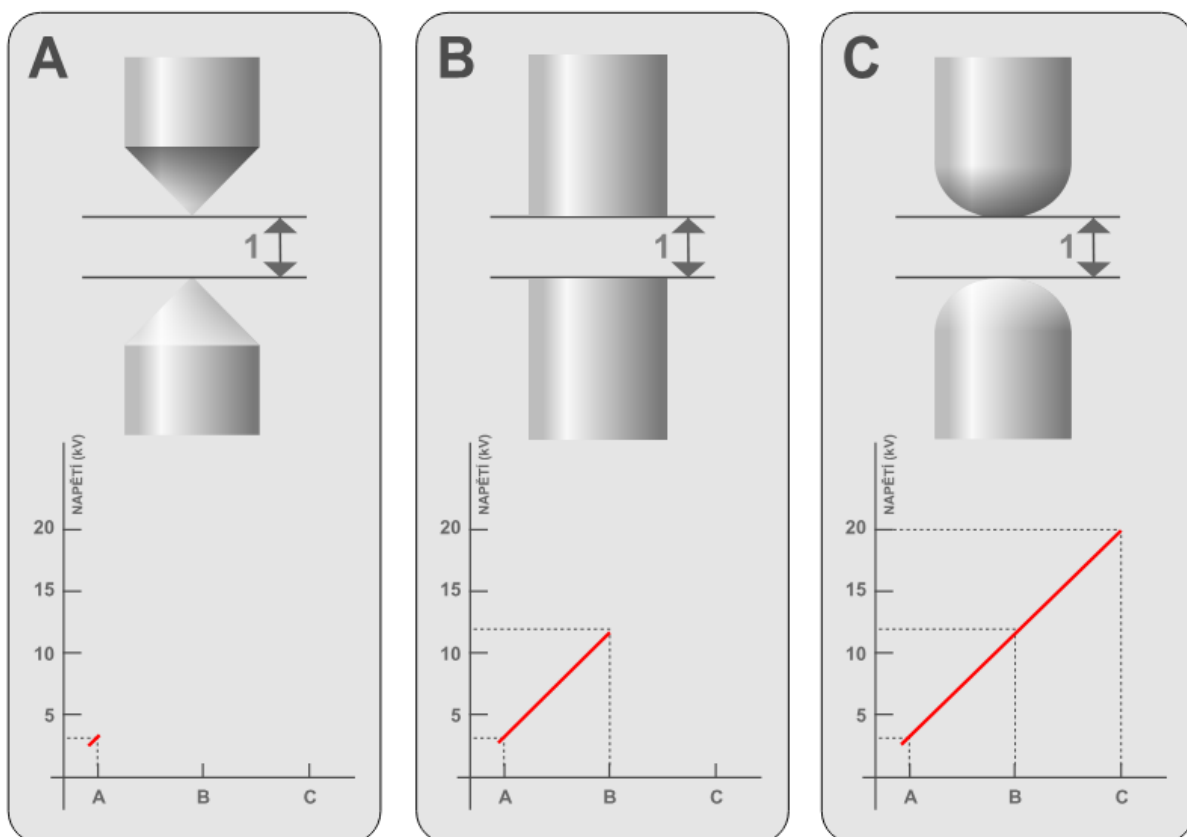
Různé motory vyžadují různou konstrukci jiskřiště a následné umístění ve válci. Pro zvýšení životnosti svíček lze využít pevnější jiskřiště nebo ušlechtilé materiály jako platina, stříbro nebo wolfram [8]. Vzdálenost mezi elektrodami ovlivňuje velikost napětí, které na svíčke musí být, aby se vytvořila jiskra. Se zvyšující se vzdáleností roste také velikost napětí [7]. Na obr. 10 je vidět závislost napětí na svíčke oproti opotřebení svíčky.



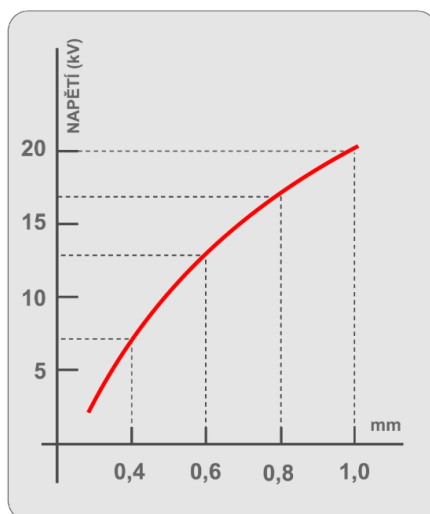
Obr. 10 Vztah mezi dodávaným elektrickým napětím a požadavkem zapalovací svíčky [7]

3.6 TVAR ELEKTROD

Dalším parametrem ovlivňujícím jiskřiště je tvar elektrod, ten má vliv na velikost napětí. U špičky je napětí nejnižší a následně roste. Nejvyšší je u elektrod s tvarem koule. Čím více je vysunuta špička izolátoru do zapalovacího prostoru, tím rychleji se bude zahřívat při nízkých otáčkách. Na druhou stranu svíčku bude dobře chladit při vysokých otáčkách díky proudění vzduchu. Proto je nutné nastavit tvar a vysunutí špičky tak, aby její provoz byl co nejvíce v ideálních podmínkách. Tvar špičky v závislosti na napětí je zobrazen na *obr. 11*. Velikost napětí a vzdálenosti lze vidět na *obr. 12*.



Obr. 11 Tvar elektrod v závislosti na velikosti napětí [7]



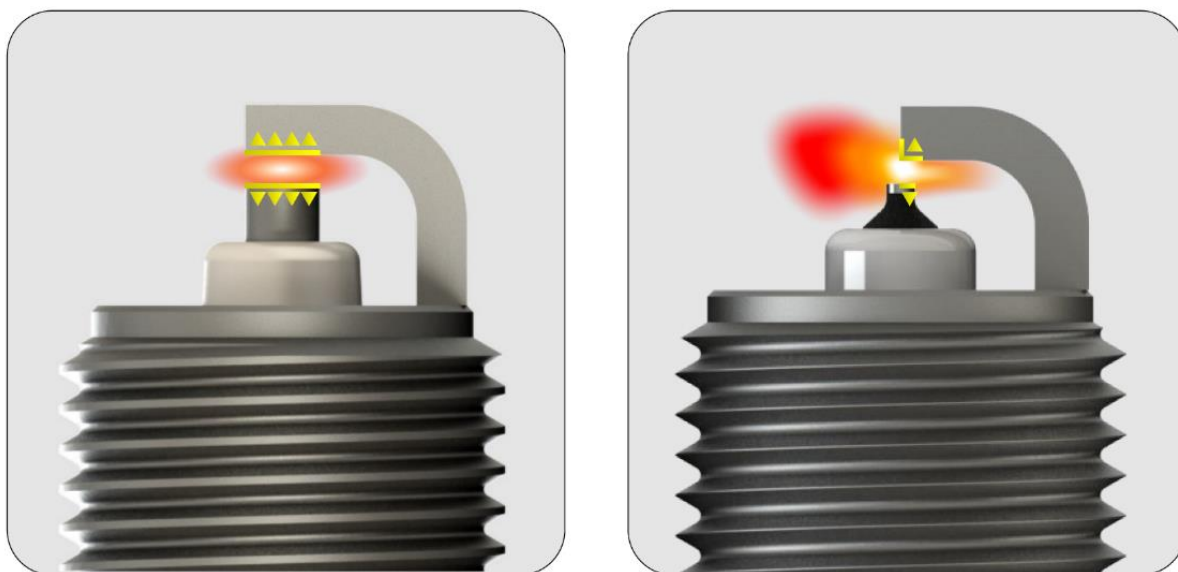
Obr. 12 Růst napětí na svíčce se zvyšující se vzdáleností mezi elektrodami

3.7 STUDENÉ STARTY

Při studených startech je velmi důležité, aby teplo z jádra nebylo odčerpáváno chladnými elektrodami. Správnou konstrukcí lze snížit plochy, které odčerpávají teplo pryč [7].

Na obrázku vlevo (obr. 13) je vidět svíčku s velkými paralelními plochami, které odčerpávají teplo pryč a mohou způsobit zhasnutí v prvních fázích [7].

Na obrázku vpravo (obr. 13) je vidět svíčka s malými plochami, které výrazně omezují množství tepla, jež je možno odčerpat pryč. Zároveň díky tvaru nebrání šíření plamene do spalovacího prostoru [7].



Obr. 13 Oblast odčerpávající teplo ze svíčky při studeném startu [7]

3.8 TYPY SVÍČEK

Svíčky můžeme dělit na teplé a studené. Tento faktor má největší vliv na správné spalování motoru. Teplotní rozsah zapalovacích svíček je udáván ve stupnicích a každý výrobce má jiné značení. Tyto stupnice vyjadřují, jak která svíčka rozptyluje teplo. Zapalovací svíčky s vysokým rozptylem tepla jsou považované za studené a svíčky s nízkým rozptylem tepla jsou považované za teplé. Na *obr. 14* lze vidět značení svíček od jednotlivých výrobců.

Teplé svíčky se nejčastěji používají v běžných vozidlech, kde motory pracují v nízkých otáčkách. Z toho důvodu nesmí svíčka odvádět teplo, aby bylo dosaženo dostatečně vysoké teploty pro samočištění svíčky. Díky tomu se prodlouží životnost svíček a zvýší interval výměny svíčky. U teplých svíček zůstává izolátor déle teplý a neodchází k tak rychlému odvodu tepla od svíčky.

Studené svíčky se používají převážně u motorů, které se pohybují ve vysokých otáčkách a ve spalovacím prostoru tak vzniká vysoká teplota [11]. Hlavní vlastností těchto svíček je rychlé zchladnutí, ale hrozí zanesení svíček, pokud budou dlouho pracovat v nízkých otáčkách. Hlavní výhodou těchto svíček je zabránění nesprávným zážehům svíčky.

HEAT RANGE CROSS REFERENCE CHART					
	NGK	DENSO	PULSTAR	CHAMPION	BOSCH
HOTTER ↑	2	9		18,19	10
	4	14	1	14,16	9
	5	16	1	11,12	8
	6	20	1	9,10	6,7
	7	22	1	7,8	5
	8	24	2	6,61,63	4
	9	27	2	4,59	3
	9.5	29		57	
	10	31		55	2
	10.5	32		53	
	11	34			
	11.5	35			
COLDER ↓	12	37			

Obr. 14 Tabulka typu svíček od výrobců [9]

3.9 VYBRANÍ VHODNÉ SVÍČKY

Nejdůležitějším úkolem bylo vybrat vhodnou svíčku pro motor, který spaluje methanol. Protože se svíčky přímo pro methanolvý motor nevyrábějí, musela být nalezena svíčka, která by co nejvíce splňovala dané požadavky.

Proto byly osloveny dvě firmy vyrábějící zapalovací svíčky. Konkrétně se jedná o českou firmu Brisk a japonskou firmu NGK. Oběma firmám byl napsán e-mail s žádostí o konzultaci s výběrem vhodné zapalovací svíčky pro methanolvý motor. Bohužel ani jedna z firem neprojevila zájem, a proto následná svíčka byla vybrána bez jejich pomoci.

Methanol má na rozdíl od benzínu větší oktanové číslo, a to konkrétně kolem 106 oktanů, což umožňuje zvyšovat tlak a teplotu ve válci, protože v porovnání s klasickým benzinem dojde k samovznícení za vyšších teplot. Motor od Iveca Cursor 13 má mnohem větší kompresní poměr, než je běžné u klasických vznětových motorů. Z toho důvodu se výběr svíčky původně inspiroval závodním motorem značky Jawa 500 určeným k plochodrážní závodu. Závodní motor má kompresní poměr 14:1, což je kompresní poměr, ke kterému se úpravou vybrání na pístu podaří co nejvíce přiblížit. Nejdůležitější je, že tento motor spaluje čistý methanol stejně tak, jako je v zadání práce. Jediný problém je, že závodní motor od Jawy se pohybuje v mnohem vyšších otáčkách, než motor od Iveca a tím pádem použití stejné zapalovací svíčky není vhodné. Motor Jawy se pohybuje v otáčkách až 14000 ot/min, zatímco motor Iveco Cursor 13 má otáčky motoru okolo 2000-2200 ot/min. Proto bylo nutné hledat jinou svíčku. Nakonec byla vybrána teplá svíčka z důvodu nízké výhřevnosti methanolu a taky pro nízké otáčky motoru Iveco Cursor 13. Vybrána byla relativně běžná a zcela dostupná svíčka, která se hojně užívá u zážehových motorů.

Byla tedy vybrána svíčka od japonského výrobce NGK, a to konkrétně NGK LFR6A-11. Pokud by tato svíčka byla příliš studená, lze zaměnit za NGK LFR5A-11. Svíčka je zobrazena na obr. 15.

Vlastnosti svíčky jsou popsány v následující tab. 1.



Obr. 15 Zapalovací svíčka NGK LFR5A-11 [10]

Tab. 1 Vlastnosti svíčky NGK LFR6A-11[16]

Kovové pouzdro

Vnější závit	M14x1,25
Typ sedla	Těsnění
Délka závitu	26,5 mm
Velikost šestihranu	16 mm
Typ svorky	Pevná
Celková výška	ISO
Mezera	1,1 mm

Středová elektroda

Materiál	Nikl
Typ	V-Cut
Velikost	2.5 mm
Projekce	Projekce

Zemní elektroda

Materiál	Nikl
Typ	Standart

Specifikace

Rezistor	Ano
Hodnota odporu	5 k Ω
Teplotní rozsah	5
Utahovací moment	Litina 24-34Nm, Hliník 24-29 Nm

Informace dílu

Značka	NGK/NTK
Životnost	48 000 km

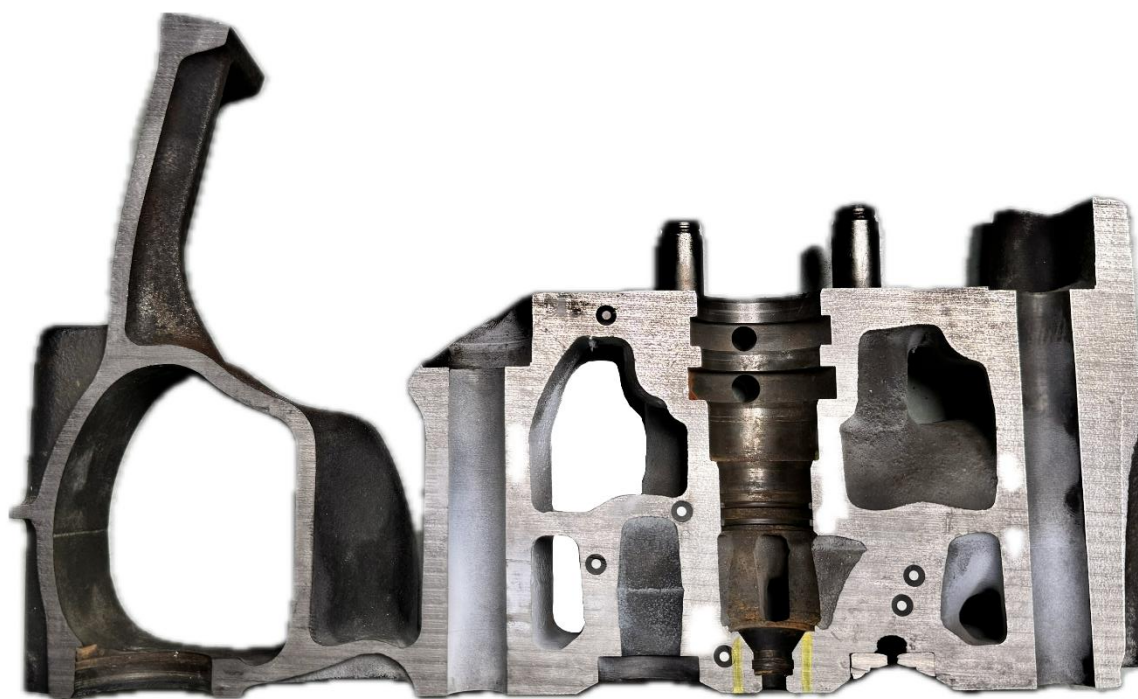
4 ÚPRAVA HLAVY MOTORU

Hlavní úkolem práce bylo upravit hlavu motoru tak, aby se mohla použít zážehová svíčka a přepracovat vznětový motor na zážehový. Řez hlavou motoru lze vidět na *obr. 16*.

Nejvhodnějším místem se stal otvor po vstřikovači, který vyžadoval nejmenší úpravy. Odstraněním vstřikovače vznikl prostor, kudy lze zavést zapalovací svíčku a zapalovací cívku do hlavy.

V otvoru pro vstřikovač byla také umístěna vložka, která oddělovala prostor chladicího systému v hlavě od prostoru pro vstřikovač. Vložka byla utěsněna pomocí dvou O-kroužků a do hlavy nalisována. Původní vložka je na *obr. 17*.

Těsnost vložky je z důvodu nežádoucí chladicí kapaliny v zapalovacím prostoru, protože chladicí kapalina v palivovém prostoru by mohla motor poškodit.



Obr. 16 Řez hlavou motoru

4.1 PARAMETRY PRO NOVÉ VLOŽKY

Pro nově navržené vložky pro zapalovací svíčky bylo potřeba, aby plnily všechny parametry nutné pro správné fungování zapalovacích svíček v hlavě motoru.

Je nutné, aby se svíčky v hlavě motoru dobře upevnily a bylo zamezeno jejich pohybu, totéž platí i pro vložku. Vložka musí odolávat vibracím motoru a teplotním vlivům.

Těsnost vložky je obdobně důležitá, protože netěsnost a následné protečení chladicí kapaliny do motoru nebo na špičku zapalovací svíčky je nežádoucí a mohlo by to poškodit celý motor.

Této těsnosti bylo dosaženo díky O-kroužkům, což jsou kruhové těsnící prvky s vysokou přesností a které se využívají za účelem zabránění propustnosti nežádoucí kapaliny nebo plynu. O-kroužky jsou vyrobeny z vulkanizované pryže.

Vložka, nebo její část musí být vyrobena z dobře tepelně vodivého materiálu tak, aby se mohla vložka a následně zapalovací svíčka ochladit od chladicí kapaliny, se kterou je vložka v přímém kontaktu v hlavě válce.

Pro účel práce byl navržen prototyp, který se následně upravoval, než byl vybrán ten nejvhodnější.



Obr. 17 Původní vložka pro vstříkovač

4.2 PROTOTYP 1

První prototyp byl navržen ze tří samostatných dílů, které byly postupně montovány do hlavy motoru, a následně byly zajištěny tak, aby plnily všechny nutné podmínky. První prototyp je na *obr. 18*.

Horní a spodní díl byl navrhnut z oceli E295, která se využívá u součástí namáhaných staticky a dynamicky a není vyžadována jejich svařitelnost.

Prostřední díl byl navrhnut ze slitiny mědi CuZn39Pb3, která je dobře obrobitelná.

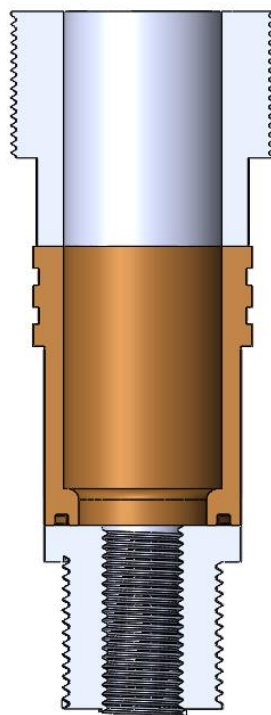
Montáž vložky byla rozdělena na jednotlivé montáže dílů vložky, vždy byl montován pouze jeden díl a něj následně další. První částí vložky je spodní díl, který je zajištěn závitem M20 v hlavě.

Následně byl na spodní díl namontován prostřední díl z bronzu, na kterém jsou tři O-kroužky pro zabránění netěsnosti vložky v hlavě motoru.

Poslední částí byla montáž horního dílu, který celou vložku utěsňuje díky hornímu závitu M36 v hlavě. Nakonec dotažením horního dílu bude zajištěna těsnost celé vložky. Horní díl je nutno namontovat s přípravkem, který využije čtyři neprůchozí díry na horním dílu při montáži.

Volba materiálu vložky je dána dobrými mechanickými vlastnostmi oceli a prostřední díl je volen z bronzu díky dobré tepelné vodivosti materiálu.

Bronzová část pomáhá předávat teplo od svíčky dál do hlavy a zajišťuje správné chlazení svíčky.



Obr. 18 První prototyp vložky pro zážehovou svíčku

Tento návrh nakonec nebyl vybrán z důvodu mnoha dílů a vysoké komplikovanosti. Návrh byl díky dvěma typům materiálu zbytečně složitý. Pro další prototypy se hledal vhodnější materiál, který by splňoval všechny vlastnosti, jež jsou od materiálu požadovány, a to pevnost a dobrá tepelná vodivost.

4.3 COPPER-BERYLLIUM

Byla vybrána slitina copper-beryllium. Jedná se o beryliový bronz, který má dobré komplexní vlastnosti, a to konkrétně pevnost, tvrdost, odolnost proti opotřebení a odolnost proti únavě k tomu si materiál zachovává svou dobrou tepelnou vodivost [13].

Proto již další návrhy jsou sestrojeny pouze z jednoho materiálu, a to z bronzu C17200. Tento materiál je dostatečně pevný pro závit a zachovává si dobré tepelné vlastnosti mědi.

Kompletní mechanické a fyzikální vlastnosti materiálu copper-beryllium jsou popsány v *tab. 2*.

Tab. 2 Vlastnosti copper-beryllia [12]

COPPER BERYLLIUM	
FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI	Metrické jednotky
HUSTOTA	8250 kg/m ³
MECHANICKÉ VLASTNOSTI	Metrické jednotky
TVRDOST, ROCKWELL C	40 - 45
TVRDOST, ROCKWELL HR30N	60 - 65
TVRDOST, VICKERS	>= 385
PEVNOST V TAHU, MEZ PEVNOSTI	1310 - 1480 MPa
PEVNOST V TAHU, MEZ KLUZU	1140 - 1415 MPa @Deformace 0,2 %
PRODLOUŽENÍ PŘI PŘETRŽENÍ	1,0 - 4,0 %
MODUL PRUŽNOSTI	125 - 130 GPa
POISSONŮV POMĚR	0,3
ÚNAVOVÁ PEVNOST	285 - 315 MPa @Počet cyklů 1.00e+8
OBRÁBĚNOST	20%
KUJNOST	40%
SMĚROVÝ MODUL	50,0 GPa

4.4 PROTOTYP 2

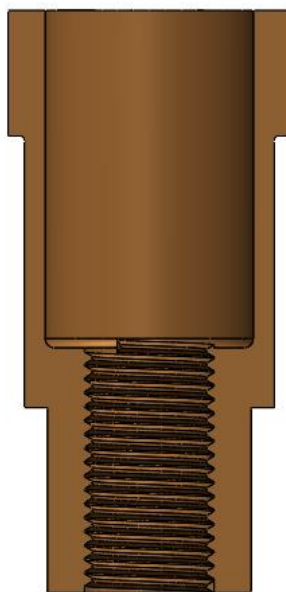
Druhý prototyp je již z materiálu Copper-Beryllium, díky tomu lze udělat celý prototyp jednodílný. Jako předchozí model má vnitřní závit pro zapalovací svíčku. Celá vložka je menší oproti prvnímu návrhu. Druhý prototyp je na *obr. 19*.

Na vložce nejsou žádné drážky pro O-kroužky a těsnosti je dosaženo přesahem materiálu. Roztažnost litiny je kolem $10-12 \mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$ a roztažnost bronzu se pohybuje kolem $16-18 \mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$.

Z mechanických vlastností litiny, ze které je vyrobena hlava motoru, a bronzu pro vložku je vidět rozdíl v teplotní roztažnosti obou materiálů.

Vložka do hlavy motoru se montuje po zchlazení dílu a následně díky zmenšení dílu se vkládá do hlavy motoru.

Toto řešení je nevhodné z důvodu potřeby vysokých přesností a jemné drsnosti hlavy motoru a vložky dílu. Montáž je také komplikovaná, protože vložku je nutno zchladit dusíkem. Přesahy na vložce vzniklé teplotní roztažností by byly malé a nemusejí vydržet změnu teplot a tlaků. Uvolnění nebo netěsnění vložky je nežádoucí a nebezpečné jak pro motor, tak pro svíčku.



Obr. 19 Druhý prototyp vložky pro zážehovou svíčku

4.5 PROTOTYP 3

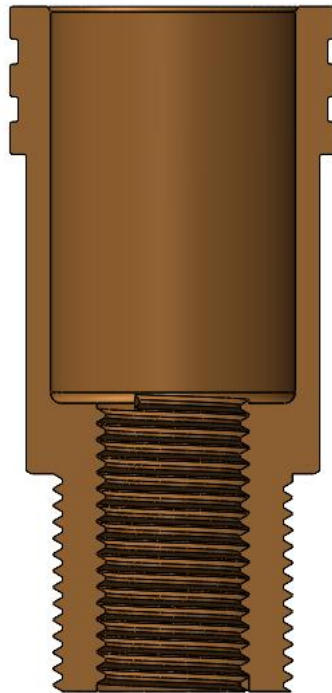
Třetí a poslední prototyp byl nakonec zhotoven co nejvěrněji k originálu se závitem v hlavě, do kterého by se vložka našroubovala. Jako materiál byl znovu použit C17200. shora byla vložka utěsněna pomocí dvou O-kroužků stejným způsobem, jak bylo provedeno na původní vložce. Třetí prototyp je na *obr. 20*.

Vložka by se montovala do závitu shora.

Těsnost vložky je ze spodní části znovu zajištěna závitem M20, který je v hlavě motoru.

Vložka by se montovala do hlavy shora do závitu, který byl na hlavě připraven. Montáž je zajištěna korunkovým klíčem.

Toto řešení se nakonec ukázalo jako nejlepší, protože celá vložka je jednodílná jako původní vložka pro vstřikovač. Vyrobená je z materialu, který má dobré mechanické vlastnosti, aby udržel vložku a svíčku na správném místě a nedošlo k poškození. Těsnost je zajištěna díky závitu a dvěma O-kroužkům.



Obr. 20 Třetí prototyp vložky pro zážehovou svíčku

5 ÚPRAVA PÍSTU

Po úpravě hlavy motoru je samozřejmě nutné upravit taky píst motoru, protože nelze použít typický diesellový píst pro zážehový motor. Oba motory pracují ve čtyřdobém cyklu. Avšak každý motor pracuje s jiným palivem.

5.1 VZNĚTOVÝ (NAFTOVÝ) PÍST

Vznětový píst ve vznětovém motorem pracuje s vyšší teplotou a tlakem oproti typickému zážehovému motoru. Prostor pro spalování paliva je navržen tak, aby zvládal vyšší tlak.

Vznětový motor při fázi sání saje pouze vzduch, který následně stlačuje a ohřívá na vysokou teplotu. Potom je do válce vstříknuta nafta, která za vysoké teploty a tlaku začne hořet, a tím dochází k expanzi. Právě díky takovému typu spalování musí být diesellový motor od benzinového robustnější, a to samé platí i pro píst. Vznětový píst má ještě vnitřní vybrání pístu tak, aby vznikl kužel, který napomáhá šíření nafty od vstřikovače rovnoměrně do celého prostoru pístu. Protože vznětový motor pracuje při vyšších tlacích, je i kompresní poměr větší oproti zážehovému motoru. Vznětový píst od Iveca Cursor 13 je vidět na *obr. 21*.



Obr. 21 Píst Iveco Cursor 13 [14]

5.2 ZÁŽEHOVÝ (BENZINOVÝ) PÍST

Zážehový píst a motor pracuje za nižších tlaků než vznětový motor. Prostor pro spalování je typicky válcový. Proto je celá konstrukce motoru i pístu lehčí. Na *obr. 22* je vidět řez pístu z motoru Merlin.

Zážehový motor saje buď směs paliva se vzduchem nebo při přímém vstřikování je palivo vstřikováno přímo do válce. Díky dobré mísitelnosti vzduchu a paliva, které následně stlačuje pomocí komprese a exploduje až při jiskře od zapalovací svíčky. Díky jiskře od svíčky se exploze vždy šíří od hlavy motoru do pístu a je pokaždé stejná, a tudíž nedochází k tak velkým vibracím. Z tohoto důvodu je možné odlehčit celou konstrukci i píst oproti diesellovému typu motoru. Motor má také menší kompresní poměr, protože za stejných tlaků a teplot jako ve vznětovém motoru by vznikala neřízená exploze, která pro motor není dobrá a mohla by ho poškodit.

V tomto případě je použit vznětový motor s vysokým kompresním poměrem a typickým vznětovým pístem, který je třeba upravit, tak aby připravená směs methanolu zažehla řízeně a nedocházelo ke klepaní.



Obr. 22 Píst z leteckého motoru Rolls Royce Merlin [19]

5.3 VÝPOČET ODEBRANÍ MATERIÁLU

Pro nový kompresní poměr bylo nutné spočítat, kolik materiálu se musí z pístu odstranit, aby byl získán nový kompresní poměr 14:1. Hodnota tohoto poměru byla zvolena na základě kompresního poměru plochodrážní Javy 500, která spaluje methanol a má stejný kompresní poměr. Původní kompresní poměr Iveca Cursor 13 je 16,5:1. Řez pístu motoru Iveca Cursor 13 je na *obr. 23*.



Obr. 23 Řez pístu z motoru Iveco Cursor 13

Pro výpočet bylo nutné znát tyto parametry:

- Průměr vrtání = 135 mm
- Zdvih = 150 mm
- Objem motoru = 12800 cm³
- $V_{v\acute{a}lce}$ je objem válce = 214667 mm³
- ε_{kp} je původní kompresní poměr = 16,5:1
- ε_{kn} je nový kompresní poměr = 14:1

Nejdříve je nutné spočítat původní vybrání pístu a následně nové. Rozdílem nového vybrání pístu od původního je zjištěno, kolik materiálu musí být odebráno z pístu, aby bylo docíleno nového kompresního poměru. Množství odebraného materiálu lze vidět na *obr. 24*.

Výpočet vybrání z původního kompresního poměru:

$$V_{pvybrání} = \frac{\varepsilon_{kp}}{V_{v\acute{a}lce}} \quad (1)$$

$$V_{pvybrání} = \frac{16,5}{214667} = 130101 \text{ mm}^3$$

Výpočet vybrání z nového kompresního poměru:

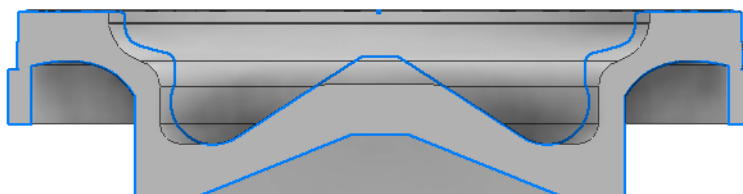
$$V_{nvybrání} = \frac{\varepsilon_{kn}}{V_{v\acute{a}lce}} \quad (2)$$

$$V_{nvybrání} = \frac{14}{214667} = 153333 \text{ mm}^3$$

Výpočet vybrání na pístu k dosažení nového kompresního poměru:

$$V_{vybrání} = V_{nvybrání} - V_{pvybrání} \quad (3)$$

$$V_{vybrání} = 153333 - 130101 = 23232 \text{ mm}^3$$

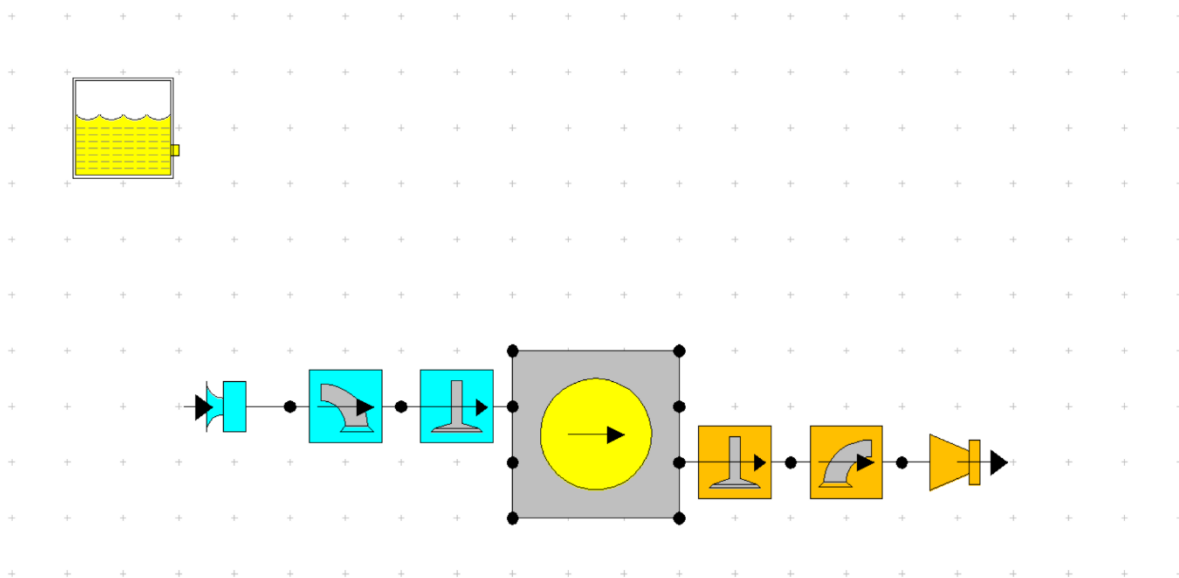


Obr. 24 Původní vybrání pístu (modrý obrys) a nové vybrání pístu

5.4 PROGRAM PRO NÁVRH A VÝPOČET SPALOVACÍCH MOTORŮ

Aby bylo možné po odebrání materiálu z pístu zajistit spolehlivost pístu, je nutné zjistit tlak a teplotu v motoru. Proto byl využit software od Lotus Engineering, ve kterém byl navržen motor, jenž splňoval všechny požadavky z původního motoru od Iveca Cursor 13. Model motoru je vidět na *obr. 25*.

Software od Lotus Engineering byl zvolen jako nejvhodnější program. Jedná se výpočetní program, který byl vyvinut automobilovou firmou Lotus.



Obr. 25 Matematický model jednoho válce v programu Lotus Engine Simulation

V programu byl následně vytvořen model motoru. Jako palivo byl zvolen methanol, který je nepřímě vstřikován do motoru. Následně bylo nutné parametrizovat píst, kde bylo zadáno vrtání pístu 135 mm a zdvih pístu 150 mm. Dále byla zadána délka ojnice, která byla změřena od středu kružnice na klikové hřídeli po střed kružnice na pístovém čepu. Ojnice má délku 230 mm. Následně se zadal kompresní poměr 14:1.

Dále byl zadán typ spalování, kdy po konzultaci s vedoucím práce byl vybrán jednoduchý Wiebův model.

5.4.1 WIEBŮV MODEL HOŘENÍ

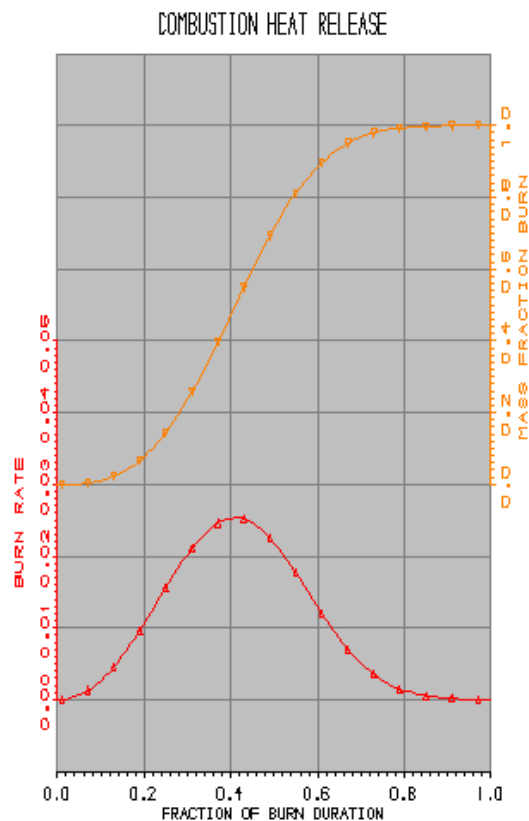
Wiebova funkce udává spálený hmotnostní podíl jako:

$$m_{frac} = 1 - e^{-A\left(\frac{\theta}{\theta_b}\right)^{M+1}} \quad (4)$$

Kde:

- A je koeficient ve Wiebeho rovnici (pro methanol A = 10)
- M je koeficient ve Wiebeho rovnici (pro methanol B = 2)
- θ je skutečný úhel hoření (po zahájení hoření)
- θ_b je celkový úhel hoření (0-100 % doby hoření)

Hlavní výhodou Wiebeho funkce je, že je normalizovaná podle doby trvání spalování. Uživatel si tak může měnit dobu hoření, aby měl jistotu, že dosáhne realistického uvolňování tepla. Jak funkce vypadá lze vidět na *obr. 26*.



Obr. 26 Wiebeho křivka pro spálený methanol za čas

Jednoduchá Wiebeho funkce se používá pro všechny spalovací systémy a koeficienty jsou zvoleny dle typu paliva z *tab. 3*.

Tab. 3 Koeficienty Wiebeho funkce dle paliva

	PALIVO	A	M
1	Benzín	10,0	2,0
2	Diesel	6,9	0,5
3	Methan	5,0	2,2
4	Methanol	10,0	2,0

5.4.2 SPALOVÁNÍ A PŘENOS TEPLA

Jako poslední bylo nutné parametrizovat vstupní údaje pro spalování a přenos tepla. Protože program nepoužije podrobnou geometrii spalovací komory, je nutné zadat tento údaj jinak. Proto budou využity plochy hlav, válců a pístu jako faktory plochy pro otvory válce.

Software od nás potřebuje tři parametry, které se musí spočítat a navolit. Spočítané parametry jsou v *tab. 4*.

Parametry:

- Hlava/vrtání: Poměr plochy hlavy válce k ploše průřezu válce
- Píst/vrtání: Poměr plochy pístu k ploše průřezu válce
- Exp. Liner: Délka vložky obnažená pístem [mm]

Pro správný tepelný přenos bylo nutné zvolit materiály, ze kterých se skládá hlava motoru, píst motoru a vložka ve válci.

Bylo zjištěno, že hlava motoru a vložka motoru je z litiny a píst motoru je z hliníku. Program si následně zjistil parametry pro tepelnou vodivost daných materiálů.

Jako model mísení paliva ve válci byl zvolen ideální model, ve kterém dochází k dokonalé mísitelnosti paliva.

Tab. 4 Parametry pro výpočet

	HLAVA/VRTANÍ	PÍST/VRTANÍ	EXP. LINER
VALEC	1,11	2,05	11

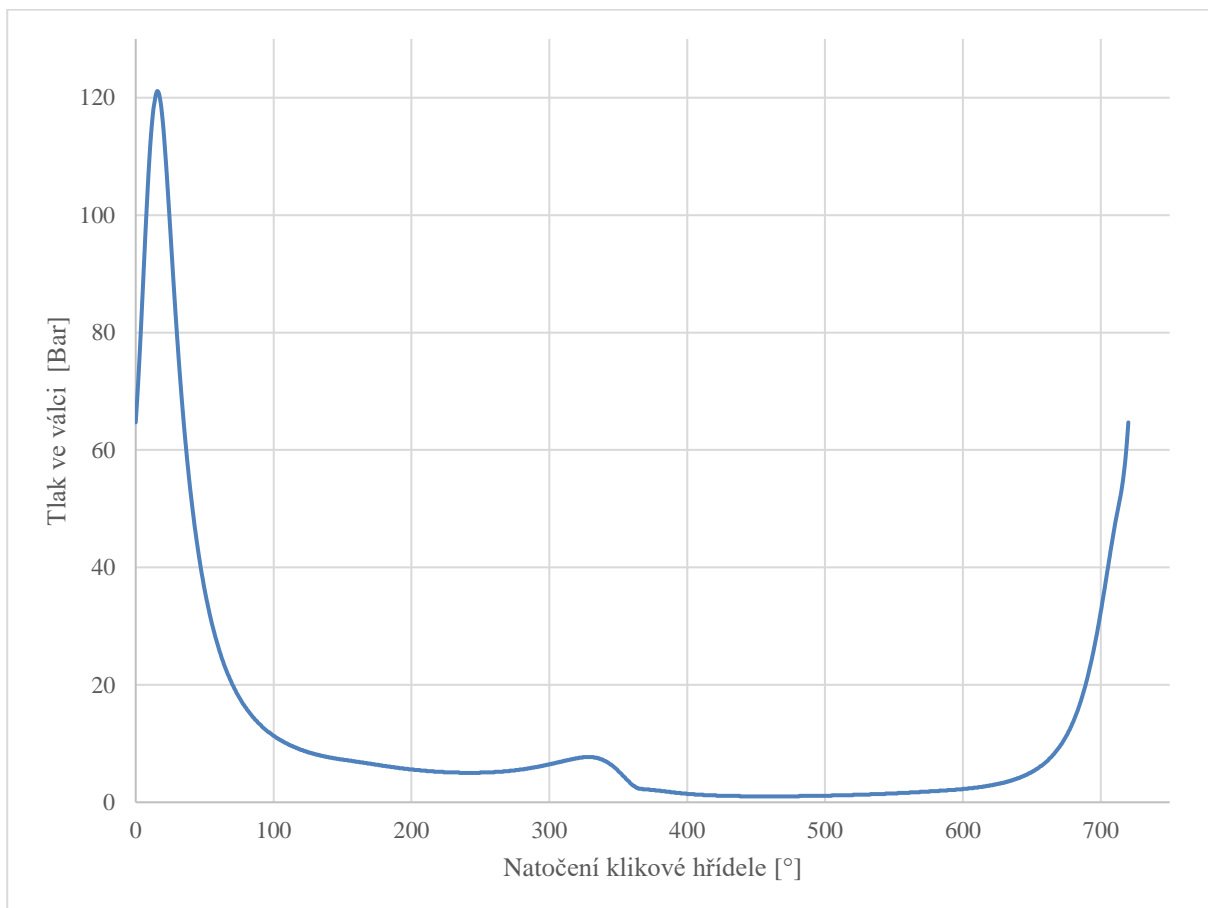
5.5 SIMULACE

Po zvolení všech uvedených parametrů se mohlo přejít k výpočtu modelu. Pro model motoru je nutné zvolit otáčky a tlak na turbokompresoru, při kterém následně bude provedeno měření teploty a tlaku po dobu dvou otáček klikové hřídele (720 stupňů).

Aby byly získány co nejvyšší teploty a tlaky v motoru, po konzultaci s vedoucím práce bylo rozhodnuto, že otáčky motoru budou zvoleny 2100 ot/min a tlak na turbokompresoru, neboli na saní, bude 1,5 bar tedy 2,5 baru absolutního tlaku. Teplota sacího vzduchu byla navolena na 35°C. Výfukový tlak byl zvolen 2,3 barů.

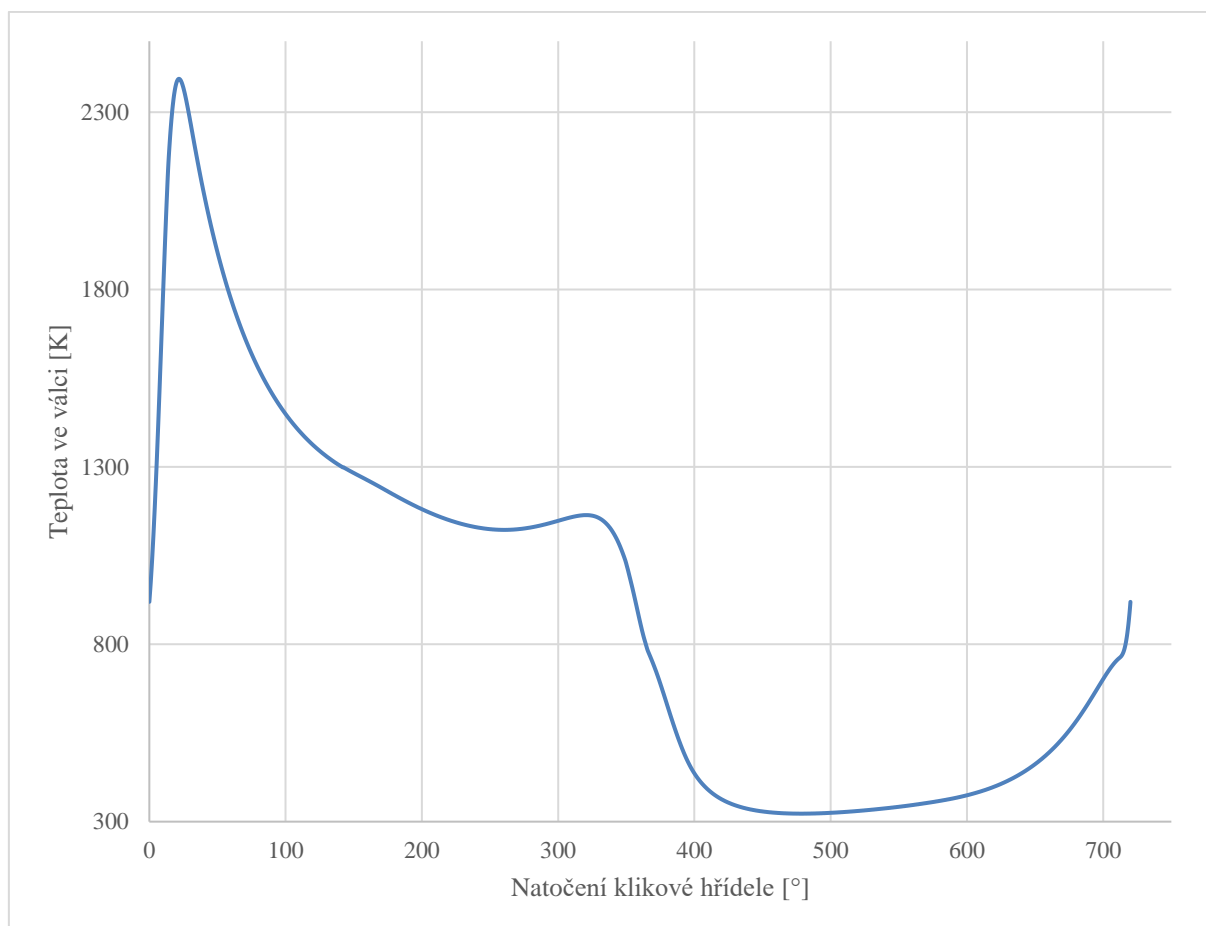
Otáčky i tlak byly voleny na horních hranicích možností motoru a turbokompresoru právě z důvodu nejvyššího výkonu a také největšímu zahřívání motoru a nárůstu tlaku v motoru.

Následně byla naměřena křivka v závislosti tlaku na otočení klikové hřídele, kde je vidět nejvyšší tlak při spalování, a to 121,1 barů. Křivka závislosti tlaku na natočení klikové hřídele je vidět na obr. 27.



Obr. 27 Závislost tlaku ve válci na natočení klikové hřídele

Dalším parametrem při měření je teplota v motoru, která se velmi podobá křivce tlaku. Nejvyšší naměřená teplota je 2388 K. Z grafu vyplývá, že nejvyšší teplota je ve fázi hoření. Následně se prostor ve válci ochladí na teplotu výfukových plynů, kdy po 360° od otočení klikové hřídele dochází k výfuku zplodin z válce a přívodu čerstvého vzduchu, a proto dochází k dalšímu ochlazení na 308 K. Vzduch je následně ohříván od okolí válce a se stlačováním teplota znovu rapidně roste. Křivka závislosti teploty na natočení klikové hřídele je vidět na *obr. 28*.



Obr. 28 Závislost teploty ve válci na natočení klikové hřídele

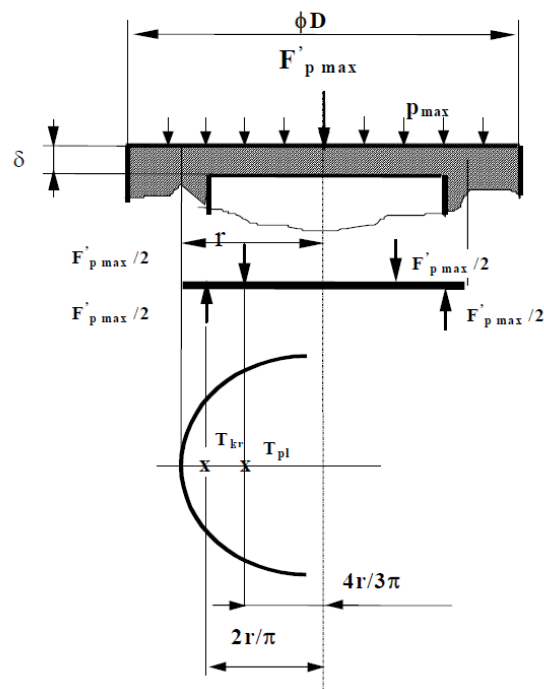
5.6 VÝPOČET NAPĚTÍ V PÍSTU

Po zjištění tlaku ve válci je nutné spočítat napětí, které vzniká v pístu. Složitost tvaru pístu a jeho namáhání neumožňuje analytický výpočet a muselo by být řešeno metodou konečných prvků.

Proto bude proveden pouze informativní výpočet, který využívá pouze základní namáhání vzniklé tlakem plynů při spalování paliva. Tudiž ve výpočtu nebude zahrnuta proměnlivost zatěžujících účinků a vrubových účinků.

Výsledek bude porovnán s kontrolním výpočtem prvotního návrhu, který vychází z podobnosti namáhání.

Pevnostní výpočet pro dno pístu je prováděn na ohyb. Dno pístu je uvažováno jako vetknutá kruhová deska, ve které se zanedbávají účinky setrvačných sil [15]. Kruhová deska se silami je na *obr. 29*.



Obr. 29 Zatížení dna pístu a výpočtový model [15]

Maximální napětí pro dno pístu u zážehového motoru s nízkými žebry je 50 MPa.

Pro výpočet ohybového napětí použijeme vzorec:

Který byl získán z [15]

$$\sigma_{o,max} = 0,25 \cdot P_{max} \cdot \left(\frac{r}{\delta}\right)^2 \quad (5)$$

Kde:

- P_{max} je maximální tlak ve válci je 12,1 MPa
- r je poloměr vetknutí (podepřené) desky je 35 mm
- δ tloušťka dna pístu je 9 mm

$$\sigma_{o,max} = 0,25 \cdot P_{max} \cdot \left(\frac{r}{\delta}\right)^2$$

$$\sigma_{o,max} = 0,25 \cdot 12,1 \cdot \left(\frac{35}{9}\right)^2 = 45,75 \text{ MPa}$$

Maximální napětí z výpočtu porovnáme s dovoleným napětím pístu s nízkými žebry. Vypočtená hodnota 45,75 MPa je tedy nižší než dovolené maximální napětí. Z toho lze vyvodit, že nedojde ke zničení pístu a odebrání materiálu na pístu není příliš radikální.

ZÁVĚR

Palivo M100 se ukázalo jako dobrá alternativa k typickým fosilním palivům, které se dnes využívají ve spalovacích motorech. Samozřejmě toto palivo není dokonalé a musely by se najít ekologičtější způsoby výroby paliva M100, aby pouze nebylo vyměněno jedno palivo z fosilních zdrojů za druhé.

Hlavním cílem práce bylo upravit hlavu motoru tak, aby splňovala požadavky pro palivo M100. Po seznámení s vlastnostmi paliva bylo jasné, že motor se bude muset upravit na zážehový. Bylo nutné se důkladně seznámit se zapalovacími svíčkami a pochopit jejich vlastnosti a funkčnost. Následně zvolit vhodné místo zážehové svíčky a její umístění do hlavy motoru. Bylo rozhodnuto, že svíčka nahradí vstřikovač. Z toho důvodu byli osloveni dva výrobci zapalovacích svíček, a to konkrétně firmy NGK a BRISK. Bohužel ani jeden z výrobců neměl zájem, a proto vhodná svíčka byla vybrána bez jejich expertízy. Vložka vstřikovače bude nahrazena vložkou pro zapalovací svíčku. Tuto vložku bylo nutné navrhnout.

Dále bylo zapotřebí upravit kompresní poměr ve válci, protože zážehové motory nemohou pracovat ve stejném kompresním poměru jako vznětové. Ze získaných hodnot byl zvolen a spočten nový kompresní poměr, kterého bylo dosaženo odebráním materiálu na pístu. Z křivky pístu byl vymodelován model, který byl následně upravován v programu Invertor. Materiál byl odebírán, dokud nebylo dosaženo požadovaného kompresního poměru.

Pro vytvoření nového methanolového modelu motoru byl využit program Lotus Engine Simulation, ve kterém proběhla simulace pro získání hodnot teploty a tlaku ve válci.

Tyto nově získaná data byla použita pro výpočet bezpečnosti pístu, ze kterého byl odebrán materiál. Pro ujistění, že úprava pístu nebyla příliš radikální a provedené změny nezpůsobí nežádoucí defekt motoru.

Řešením práce bylo navržení hlavy motoru s vhodnou vložkou pro zapalovací svíčku, nalezení zapalovací svíčky a úprava pístu tak, aby nedocházelo k poškození pístu a motoru. V práci byly popsány vlastnosti methanolu označovaného jako palivo M100. Práce se naopak nezabývala řešením přívodu paliva do motoru. Jedním z nejjednodušších řešení by bylo nepřímé vstřikování, ale z hlediska ekologie se tato varianta jeví nevhodnou, protože by vedla ke zvýšení emisí. Bez ohledu na to, že motor není na tuto úpravu připraven.

Závěrem se z práce nechá vyvodit, že přestavba zážehového motoru na vznětový, který pracuje s palivem M100, je dobrý nápad a bylo by dobré tuto úvahu pořádně prozkoumat. Bohužel upravovat původní hlavu a píst motoru zbytečně komplikuje celou přestavbu a omezuje konstruktérské inovace. Nejlepší by bylo navrhnout dané díly raději na methanol již od začátku, než je předělávat. Následně by nevznikaly problémy způsobené upravováním součástí a celé řešení by se zjednodušilo.

V budoucnosti by bylo vhodné vyřešit dopravu paliva a následně převést získané poznatky do praxe a vytvořit třeba pouze jednoválcový model motoru, který by fungoval na palivu M100.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] Methanol. Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-. Dostupné také z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Methanol>
- [2] Methanol Institute, 2021, Methanol as a Diesel Substitute Webinar, Youtube video. [2024-08-05].
Dostupné také z https://www.youtube.com/watch?v=aqvUw5KgexM&ab_channel=MethanolInstitute
- [3] Methanol. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2024. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Methanol#From_synthesis_gas. [cit. 2024-05-08].
- [4] THE AMF TCP. Methanol. Online. THE AMF TCP. AMF. Dostupné z: https://www.iea-amf.org/content/fuel_information/methanol. [cit. 2024-05-08].
- [5] DONG, Yang; SHIMING, Wei; YINJIE, Ma; JIALUO, Zhao a E, Jiaqiang. Influence of critical parameters on combustion and emission characteristics of methanol/diesel dual fuel compression combustion engine. Online. ScienceDirect. 2024. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236124007956>. [cit. 2024-05-09].
- [6] BEIDONG, Zhang; YINJIE, Ma; YEXIN, Chen; YANKUN, Jiang a WANGBIN, Liu. Effect of compression ratio and Miller cycle on performance of methanol engine under medium and low loads. Online. ScienceDirect. 2023. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236123015983#f0005>. [cit. 2024-05-09].
- [7] Technický manuál zapalovací svíčky. Online. In: BRISK. <https://www.brisk.cz/>. 2023. Dostupné z: <https://www.brisk.cz/content/uploads/2023/02/technick%C3%A9-%C5%A1kolen%C3%AD-2023-CZ2.pdf>. [cit. 2024-05-09].
- [8] Technický manuál: Zapalovací svíčky. Online. In: BRISK. <https://www.brisk.cz/>. 2015. Dostupné z: https://www.brisk.cz/content/uploads/2015/08/technical_manual_cz_150dpi.pdf. [cit. 2024-05-09].
- [9] Hot Spark Plugs Vs Cold Spark Plugs. Online. In: SANDER, David. Vermont Automobile Enthusiasts. 2019. Dostupné z: <https://vtauto.org/hot-spark-plugs-vs-cold-spark-plugs/>. [cit. 2024-05-09].
- [10] NGK LFR5A-11. Online. In: <https://www.svickyngk.cz/>. Dostupné z: <https://www.svickyngk.cz/zapalovaci-svicky/ngk-lfr5a-11>. [cit. 2024-05-09].
- [11] CHAMPION. CHOOSING THE RIGHT SPARK PLUG HEAT RANGE. Online. CHAMPION. 2022. Dostupné z: <https://www.championautoparts.com/Technical/Tech-Tips/choosing-the-right-spark-plug-heat-range.html>. [cit. 2024-05-17].

- [12] Beryllium Copper. Online. MatWeb. Dostupné z: <https://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=ae0103ab776344b9bf4b6b4bd6eb6f8b>. [cit. 2024-05-17].
- [13] Vlastnosti berylliové mědi. Online. Asiancopper. 2020. Dostupné z: <http://m.cz.asiancopper.com/info/beryllium-copper-properties-50562823.html>. [cit. 2024-05-17].
- [14] Piston Iveco Cursor 13. Online. In: Trans Ager. Dostupné z: <https://transager.md/en/product/piston-iveco-cursor-13-euro-35-135mm-mahle-009-99-00>. [cit. 2024-05-17].
- [15] RAUSCHER, Jaroslav. Semestrální projekt: Podklady pro semestrální projekt návrhu motoru [skriptum]. Brno: VUT, Fakulta strojíního inženýrství, 2005, 154 s.
- [16] NGK 3672 LFR6A-11 V-Power Spark Plug. Online. In: NGK. Dostupné z: <https://www.ngk.com/ngk-3672-lfr6a-11-v-power-spark-plug>. [cit. 2024-05-24].
- [17] WELLS, J.Sj. *The Rolls-Royce Merlin Aero Engine*. Online. In: Enginehistory. 2010. Dostupné z: <https://www.enginehistory.org/Piston/Rolls-Royce/RHM/RHM.shtml>. [cit. 2024-05-24].
- [18] CHEDWICK, Glyn. <https://gchadwick.myportfolio.com/> [online]. [cit. 23.3.2024]. Dostupný na WWW: <https://gchadwick.myportfolio.com/rolls-royce-merlin-xx-cutaway-with-general-spec>
- [19] SKELLAN, Peter. *Half piston, Merlin 24 engine*. Online. In: Collection.sciencemuseumgroup. Dostupné z: <https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co8413269/half-piston-merlin-24-engine-aeroplane-engine-component>. [cit. 2024-05-24].
- [20] Imperial War Museums, 2022, Why the Merlin engine was essential to the war. Online. In: Youtube video. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=aqqw6oSiPDw&t=113s&ab_channel=ImperialWarMuseums. [cit. 2024-05-24].
- [21] *AG Adolph Saurer Arbon – Swiss Made*. Online. 2012. Dostupné z: https://www.automobilrevue.cz/rubriky/testy/predstavujeme/ag-adolph-saurer-arbon-swiss-made_41272.html. [cit. 2024-05-24].

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

$V_{pvybrání}$	[mm ³]	Objem vybrání původního pístu
$V_{nvybrání}$	[mm ³]	Objem vybrání nového pístu
$V_{vybrání}$	[mm ³]	Rozdíl objemů původního a nového
ε_{kp}	[-]	Původní kompresní poměr
ε_{kn}	[-]	Nový kompresní poměr
$V_{válce}$	[mm ³]	Objem válce
m_{frac}	[kg]	Spálená hmota
A	[]	A koeficient ve Wiebeho funkci
M	[]	M koeficient ve Wiebeho funkci
θ	[°]	Skutečný úhel hoření
θ_b	[°]	Celkový úhel hoření
$\sigma_{o,max}$	[MPa]	Ohybové napětí ve válci
P_{max}	[MPa]	Tlak ve válci
r	[mm]	Poloměr vetknutí
δ	[mm]	Tloušťka dna válce