



Fakulta zemědělská
a technologická
Faculty of Agriculture
and Technology

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

FAKULTA ZEMĚDĚLSKÁ A TECHNOLOGICKÁ

Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky

Bakalářská práce

Vývoj a koncepce 5 – taktních motorů

Autor práce: Radek Liška
Vedoucí práce: Ing. František Špalek

České Budějovice
2022

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem autorem této kvalifikační práce a že jsem ji vypracoval(a) pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Českých Budějovicích dne

.....
Podpis

Abstrakt:

Tato práce se zabývá teorií čtyřdobého motoru s vnitřním spalováním a konceptu pětidobého spalovacího motoru. Popisuje pracovní doby čtyřdobého spalovacího motoru. Zaměřuje se také na různé varianty pohonu moderního vozidla, elektromotory, hybridní pohon vozidel. Motory s prodlouženou expanzí, mezi které patří motor s Atkinsonovým cyklem a s cyklem vytvořeným Ralphem Millerem, a hlavně pětidobý motor, jehož parametry jsou porovnány s klasickým motorem. Cílem práce je vytvoření model vlastní konstrukce pětidobého spalovacího motoru.

Klíčová slova:

Spalovací motor, Pětidobý motor, Model, Millerův cyklus, Atkinsonův cyklus

Abstract:

This work deals with theory of four stroke internal combustion engine and with the concept of five stroke combustion engine. Describes working strokes of four stroke engine. Work is focused also on another variants of modern vehicle drives like electric motors and hybrids. Engines with longer expansion stroke, which includes Atkinson cycle and cycle invented by Ralph Miller and in particular the five-stroke engine, which parameters is compared with classical ICE. The final result of this work is creation of five stroke engine model of own construction.

Keywords:

Combustion engine, Five-stroke engine, Model, Miller cycle, Atkinson cycle

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Františkovi Špalkovi za věcné rady a připomínky během psaní práce. Dále bych rád poděkoval své přítelkyni, přátelům a rodině za psychickou podporu.

Obsah

Úvod.....	7
1 Motory.....	7
1.1 Obecná definice motoru	8
1.1.1 Definice spalovacího motoru	8
1.2 Zážehový motor.....	9
1.2.1 Pracovní oběh spalovacího motoru	9
1.2.2 Zdvihový objem motoru.....	9
1.3 Pracovní oběh čtyřdobého spalovacího motoru	10
1.3.1 Sání.....	10
1.3.2 Komprese (stlačení)	11
1.3.3 Expanze (výbuch).....	12
1.3.4 Výfuk	12
1.4 Elektrický motor.....	14
1.5 Elektromobil.....	14
1.6 Hybridní pohon.....	15
1.6.1 Sériový hybrid.....	15
1.6.2 Paralelní hybrid	15
1.6.3 Kombinovaný hybrid	16
1.7 Emise	16
2 Spalovací motory s prodlouženou expanzí	18
2.1 Atkinsonův cyklus.....	18
2.2 Millerův cyklus.....	19
3 Pětidobý spalovací motor	20
3.1 Koncept pětidobého motoru Ilmor	20
3.2 Pracovní oběh pětidobého motoru.....	21

3.3	Koncept pětiodobého motoru Krakovské technologické univerzity	22
3.4	Výsledek testů pětiodobého motoru Krakovské univerzity	24
4	Cíle práce	25
5	Návrh konceptu 5 - taktního motoru	27
5.1	Zvolení koncepce uspořádání válců	27
5.1.1	Koncepce řadového uspořádání válců.....	27
5.1.2	Koncepce rozložení válců do V	29
5.1.3	Koncepce plochého rozložení válců.....	31
6	Realizace návrhu konceptu pětiodobého motoru	33
6.1	Blok motoru.....	33
6.2	Kliková hřídel.....	34
6.3	Ojnice	34
6.4	Písty	36
6.4.1	HP píst.....	36
6.4.2	LP píst	36
6.5	Hlava motoru	37
6.5.1	Vačkové hřídele	37
6.6	Sestava hlavy motoru	38
6.7	Sestava motoru	39
7	Diskuse.....	41
	Závěr	41
	Seznam použité literatury.....	42
	Seznam obrázků	45
	Seznam tabulek	47
	Seznam použitých zkratk.....	48

Úvod

Prvopočátkem vývoje automobilů můžeme označit konec 18. století. V této době byly realizovány první koncepty vozidel poháněných parním strojem. Zvrat a obrovský milník způsobil čtyřdobý spalovací motor vyvinutý vynálezcem Nicolausem Ottem. Počátek 20. století znamenal příchod prvních elektromobilů. První desetiletí 20. století bylo bojem mezi těmito třemi pohony, ze kterého nakonec vzešel vítězně spalovací zážehový motor. Vznětový motor, zkonstruovaný Rudolfem Dieselem, se začal objevovat v první polovině 20. století v nákladních vozidlech, v osobních až koncem 70. let.

V dnešní době honu za emisemi se zdá, že pro spalovací motor již není místo a jedná se o přežitek dob dávno minulých. Náhrada ve formě elektromobilů ovšem není v současnosti stále dokonalou náhradou a infrastruktura na tento přechod není připravená.

Koncept pětidobého spalovacího motoru by mohl vytvořit náhradu za stávající spalovací motory, a přitom zachovat stávající infrastrukturu. Výrobní technologie se také příliš neliší od technologií používaných při výrobě dnešních motorů. Jeho použitím za pomoci syntetických paliv by se teoreticky mohl budoucí automobilový vývoj vydat a představit se, především pro kupce vozidel, jako důstojnější náhrada za dnešní spalovací motory místo elektromobilů, či jako možnost k pomalejšímu a nenucenému postupnému vývoji elektroaut.

1 Motory

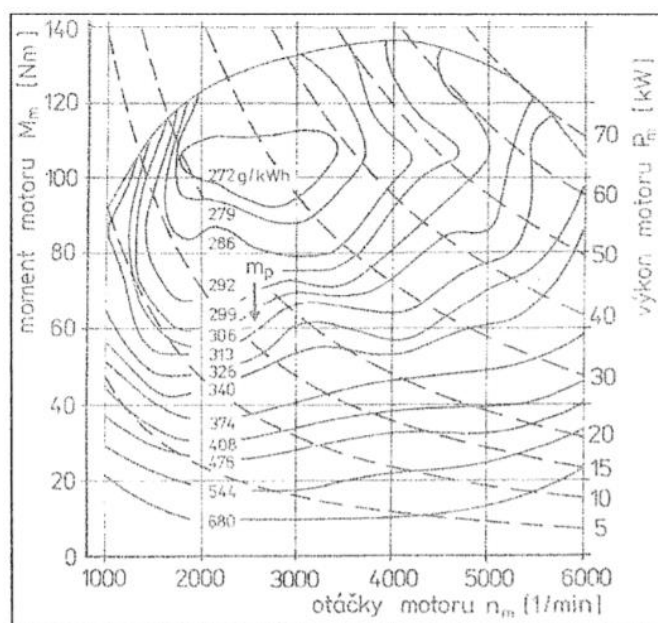
Mezi první konstruktéry patřili James Watt, nebo například Nicolas Joseph Cugnot. První polovině 19. století stále dominovala vozidla s parním strojem, protože pro ně prakticky neexistovala jakákoliv konkurence (Remek, 2012).

1.1 Obecná definice motoru

Motor je pracovní stroj, který mění různé druhy paliv, nebo energií na mechanický pohyb. Ve většině případů se jedná o točivý mechanický pohyb, který je využit k pohybu různých mechanismů či dopravních prostředků. V nejčastějších případech se jedná o rotační pohyb, ovšem existuje i lineární, nebo oscilační motor. Motor je zpravidla součástí a pohonná jednotka složitějších strojů (Horejš a Motejl, 2009).

1.1.1 Definice spalovacího motoru

Jedná se o tepelný hnací stroj, který mění plynná, nebo kapalná paliva na mechanickou práci. Spalování probíhá přímo ve spalovacím prostoru daného motoru (vnitřní spalování). Spalování probíhá za tlaku vyššího než atmosférického a je potřeba, aby bylo ovládané. Samotné zplodiny jsou pracovním činitelem. Jedná se o termodynamický děj, při kterém probíhá změna stavu a chemického složení spalované látky. Tyto děje skládají pracovní oběh čili cyklus, nebo takt. Úplná charakteristika spalovacího motoru prezentuje celkovou provozní oblast motoru viz obrázek č. 1.1. (Jan a Ždárský, 2016).



Obrázek 1.1 Úplná charakteristika spalovacího motoru (dspace.cvut.cz, 2017)

1.2 Zážehový motor

Využívá elektrické jiskry jako zdroje zážehu. Elektrická jiskra vzniká mezi elektrodami zapalovací svíčky. Jedná se o obvyklý způsob zapálení směsi paliva u benzínových a plynových motorů. Směs, u nepřímovstříkových motorů, je stlačována s teplotou nižší, než je teplota samovznícení. To představuje kompresní poměr (vzorec č. 1.1), obvykle max. 1,2 MPa u atmosférických motorů. Jedná se o umělý způsob zapálení směsi. Pokud by docházelo k samovznícení, motor by tzv. klepal (Horejš a Motejl, 2009).

$$\varepsilon = \frac{V_s + V_k}{V_k} \quad (1.1)$$

V_s - objem válce motoru

V_k - objem kompresního prostoru

Kompresní poměr je potřeba pro řízení a správu prohoření palivové směsi související s emisemi.

Samovznícení může ovšem být i benzínového motoru řízené (Mazda Skyactiv-X).

1.2.1 Pracovní oběh spalovacího motoru

Je potřeba se zaměřit na pohyb a práci pístu v pracovním prostoru. Píst označujeme jako pístní skupinu, jež je tvořena pístem a pístními kroužky. Píst je poté spojený pomocí pístního kloubu (ojnice) s klikovým hřídelem. Tato vzájemná propojení dává možnost přímočarého pohybu pístu a jeho převodu na otáčení pomocí klikové hřídele (Horejš a Motejl, 2009).

Horní úvrat' (HÚ): poloha pístu ve které se píst nachází v nejvyšší kolmé poloze vůči klikové hřídeli.

Dolní úvrat' (DÚ): poloha pístu ve které se píst nachází v nejnižší kolmé poloze vůči klikové hřídeli.

1.2.2 Zdvihový objem motoru

Jedná se o jednoduchý matematický výpočet objemu pracovního prostoru (válce) (vzorec č. 1.2). Zdvihový objem je předem daný pohybem pístu z horní do dolní úvrati.

$$V_s = \frac{\pi d^2}{4} * S \quad (1.2)$$

d = Průměr válce motoru

S = zdvih pístu

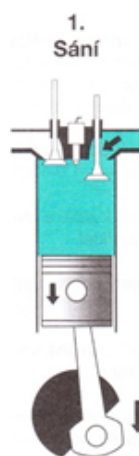
Při vynásobení počtem válců lze získat celkový zdvihový objem motoru (za předpokladu, že jsou všechny válce stejné) (Horejš a Motejl, 2009).

1.3 Pracovní oběh čtyřdobého spalovacího motoru

Pracovní oběh (cyklus) je základní činnost každého spalovacího motoru. Jeden cyklus čtyřdobého spalovacího motoru proběhne za dvě otáčky klikové hřídele a jednu otáčku vačkové hřídele, pokud jí je motor vybaven. Píst vykoná čtyři pracovní zdvihy (pohyb pístu mezi HÚ a DÚ) (Remek, 2012).

1.3.1 Sání

Píst se pohybuje z HÚ do DÚ. Do válce je nasávána směs paliva a vzduchu (viz obrázek č. 1.2) (nepřímé vstřikování, karburátor), nebo vzduch (přímé vstřikování) který je přefiltrovaný skrze sací filtr. Sací ventil je otevřený. Vzduch do válce může být hnán nejen pod tlakem vytvořeným pohybem pístu, ale také pomocí turbodmychadla, či kompresorem. Pokud by byl sací ventil otevřen je při pohybu pístu z HÚ do DÚ, došlo by k nedostatečnému naplnění válce. Sací ventil je otevírán už 0° až 40° otočení klikové hřídele před horní úvratí, ještě při fázi výfuku. V této chvíli dochází ke stříhu ventilů, kdy je otevřen sací i výfukový ventil zároveň (Horejš a Motejl, 2009), (Jan a Ždárský, 2016).

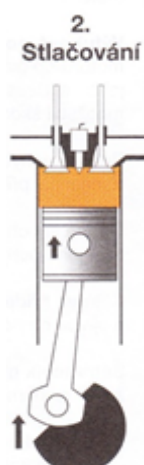


Obrázek 1.2 Doba sání (autoforum.cz, 2015)

V případě prodloužení doby plnění, dochází k naplnění na cca 80 %. Zvýšení účinnosti plnění dochází snížením aerodynamických ztrát v sacím potrubí, tvarem spalovacího prostoru, nebo snížením teploty nasávaného vzduchu, či směsi (Jan a Ždárský, 2016).

1.3.2 Komprese (stlačení)

Píst se pohybuje z DÚ do HÚ a stlačuje nasátý vzduch, či směs (viz obrázek č. 1.3). Sací i výfukový ventil jsou uzavřeny. Vlivem stlačení dochází ve válci k nárustu teploty, cca 320 °C a 450 °C u zážehového motoru a u vznětového motoru se teplota pohybuje mezi 500 °C až 800 °C. Vlivem teploty dochází k odpařování paliva a k mísení směsi (motory pracující s homogenní směsí). U přímo vstříkových motorů pracujících se směsí chudou dochází ke vstříknutí paliva těsně před dosažením HÚ a ve správnou chvíli dochází k zažehnutí směsi. Zvýšením kompresního poměru dochází ke zvýšení využitelnosti energie v palivu, a tím i vyšší účinnosti motoru (Horejš a Motejl, 2009), (Jan a Ždárský, 2016).



Obrázek 1.3 Doba komprese (stlačování) (autoforum.cz, 2015)

Hodnota kompresního poměru

K zvýšení výkonu zvýšením kompresního poměru dochází:

- Lepším vypláchnutím spalovacího prostoru malého rozměru, kdy ve spalovacím prostoru zůstane menší objem spalin
- Díky vyšší kompresní teplotě dochází k lepšímu odpaření paliva a následnému promíchání se vzduchem
- Při zvýšení kompresní teploty se můžou rozpínat výfukové plyny, to způsobí pokles jejich teploty a tím ke snížení tepelných ztrát výfukem.

Zvýšením kompresního poměru dochází i ke zvýšení teploty. Při dosažení teploty 400 °C–500 °C (zážehový motor) může za určitých podmínek dojít k samovznícení paliva tzv. detonační spalování (klepání). Detonační spalování je ovlivněno nejen teplotou a kompresním poměrem, ale také druhem a složením paliva (Horejš a Motejl, 2009), (Jan a Ždárský, 2016).

1.3.3 Expanze (výbuch)

Jedná se o jedinou dobu, při které čtyřdobý spalovací motor koná práci. Píst se pohybuje z HÚ do DÚ (viz obrázek č. 1.4), oba ventily jsou v tuto chvíli uzavřené. Zapálená směs v předchozí době způsobí prudký nárůst tlaku v spalovacím prostoru a tím vykoná práci. Práce pístu je z přímočarého pohybu převedena na otáčivý pohyb pomocí klikového mechanismu. K rozvinutí plamene od jiskry zapalovací svíčky dojde za cca 0,001 s. K zapálení tedy musí dojít 45° až 0° natočení klikové hřídele před HÚ, aby při dokonalém průběhu hoření směsi došlo k prudkému nárůstu tlaku a teploty těsně po dosažení HÚ. Dosažená teplota se pohybuje mezi 2000 °C až 2500 °C a maximální tlak se pohybuje v rozmezí 4 – 6,5 MPa. Ukončení nejpodstatnější části hoření dochází cca 40° za HÚ. Před dosažením DÚ je výfukový ventil otevírán (Horejš a Motejl, 2009), (Jan a Ždárský, 2016).



Obrázek 1.4 Doba expanze (autoforum.cz, 2015)

1.3.4 Výfuk

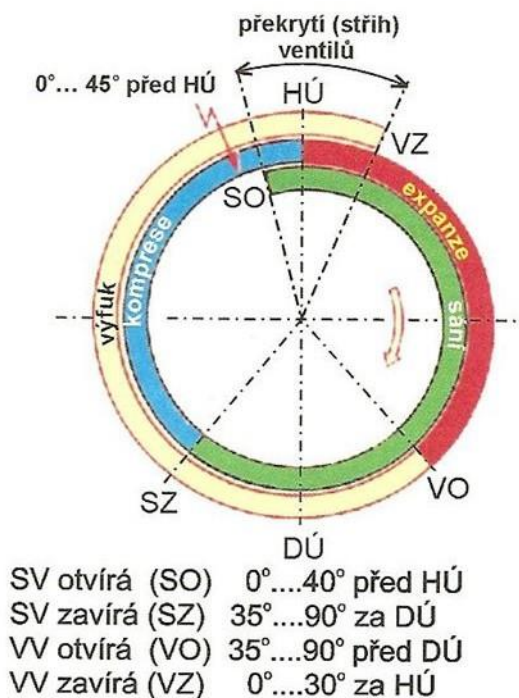
Před ukončením fáze expanze se otevírá výfukový ventil (35° až 90° před DÚ). Díky stále vysokému tlaku (0,25–0,45 MPa) ve válci začnou výfukové plyny proudit otevřeným výfukovým ventilem do výfukových svodů a poté výfukovým potrubím až ven do atmosféry. Píst se pohybuje z DÚ do HÚ (obrázek č. 1.5) čímž se ve válci

udržuje přetlak, kterým je vytlačován zbytek výfukových plynů. K dokonalému vypláchnutí spalovacího prostoru dochází posunutím zavření výfukového ventilu až po dosažení HÚ (0°-30° za HÚ). V této chvíli je již otevřen sací ventil a dochází ke střihu ventilů (Horejš a Motejl, 2009), (Jan a Ždárský, 2016).



Obrázek 1.5 Doba výfuku (autoforum.cz, 2015)

Po dokončení všech dob se celý proces opakuje. Jediným taktem, který skutečně vykonává práci je doba expanze. Všechny ventily se otvírají či zavírají s určitým předstihem, nebo prodlevou, aby došlo k dokonalému plnění či vypláchnutí (viz obrázek č. 1.6) (Horejš a Motejl, 2009), (Jan a Ždárský, 2016).



Obrázek 1.6 Ventilový diagram čtyřdobého motoru (slideplayer.cz)

1.4 Elektrický motor

Elektrické motory jsou v různých podobách využity v našem každodenním životě. I ve vozidlech se spalovacím motorem, je veliké množství různorodých elektrických motorů. V dnešní době nastupujících elektromobilů se můžeme setkat se silnoproudými motory pro pohon vozidla a slaboproudými pro pohon různých příslušenství. Pro pohon elektromotoru je využito elektrické energie a rozdílné působení magnetického pole, dochází k přeměně na točivý pohyb. Jejich obrovská výhoda je, že jejich provoz je ekologicky čistý, spolehlivý a nezávadný. Přestože jejich provoz je ekologicky čistý, je potřeba počítat s čistými zdroji energie, například vodní elektrárny. Během provozu může vzniknout zanedbatelné množství prachových částic např. u tzv. uhlíkových motorů (Horejš a Motejl, 2009).

Jejich použití je ve vozidlech rozsáhlé, kromě pohonu samotného vozidla (elektromobil), jsou použity pro stěrače, otevírání oken, ovládání klapky klimatizace, nebo klapky sání u spalovacích motorů. Elektromotory jsou použity i pro dodávání paliva z nádrže, nebo k řízení emisních systémů (EGR) (Horejš a Motejl, 2009).

1.5 Elektromobil

Termín elektrické vozidlo zahrnuje jakékoli vozidlo, které používá k pohonu elektromotoru. Baterie jsou nabíjeny pomocí dobíjecích stanic, či tzv. ze zásuvky například doma v garáži a během provozu rekuperací energie. Nejznámější typy elektrických vozidel jsou hybridní a čistě elektrické. Elektromobil je dodáván s různými součástmi, které pomáhají jeho provozu. Termín elektrické vozidlo zahrnuje jakékoli vozidlo, které používá k pohonu elektromotory, zatímco elektromobilem se rozumí automobily schopné provozu na dálnici poháněné elektřinou (Olenrewaju, 2021).

Elektromobily nejsou nejen nová moderní technologie, ale existovali již na přelomu 19 a 20 století. Vysoká cena oproti automobilům se spalovacím motorem je ovšem vytlačila na dlouhou dobu z trhu pro mainstreamové zákazníky. Ropná krize v sedmdesátých letech minulého století, znamenala návrat k vývoji elektroaut. Jedním z více rozšířených do „obyčejné“ společnosti byl v devadesátých letech General Motors EV1. GM ovšem jeho vývoj a výrobu prohlásilo za vysoce ztrátovou, a všechna vozidla byla od zákazníků odebrána a zlikvidována (Mihálik, 2019).

Výhody elektrických vozidel jsou:

- Neuvolňují se žádné emise v místě provozu
- Levnější na provoz
- Řeší problém vyplývající z neobnovitelných zdrojů energie
- Nepřispívá ke skleníkovým emisím jako vozidla se spalovacím motorem

Nevýhody:

- Dojezd je silně ovlivněn povětrnostními podmínkami a teplotou
- Nabíjení trvá déle než tankování (v případě nabíjení ze zásuvky)
- Stále nedostatečné rozšíření dobíjecích stanic

1.6 Hybridní pohon

Vozidla vybavená hybridním ústrojí pro pohon, mají za úkol kombinaci obou světů současných automobilových pohonů. Kombinací spalovacího a elektrického motoru se snaží využít jejich výhody a zároveň eliminovat jejich rozdílné nevýhody. V dnešní době jsou hybridní vozidla prezentována jako postupný přechod ze spalovacího motoru na elektrický pohon, tedy aby překlenula vytvořenou propast, vytvořenou stále komerčním neúspěchem prodeje elektromobilů (Cholakov, 2018).

Hybridní vozidlo je takové, které má dva různé zdroje hnací energie. Existují různé druhy koncepce hybridního pohonu. Mezi ně se řadí využití palivových článků, plynových turbín, dieselové motory a benzínové spalovací motory se systémem spalování chudé směsi v kombinaci se setrvačníky, bateriemi a ultrakondenzátory. Elektrický a spalovací systém hybridního vozidla může mít různé konfigurace, paralelní, nebo sériovou (Cholakov, 2018).

1.6.1 Sériový hybrid

Sériové provedení hybridního vozidla používá jako pohonnou jednotku elektromotor a jako generátor je použitý spalovací motor, nebo systém palivových článků vytvářející elektrickou energii pro baterii nebo pro elektromotor. Mezi hybridní jednotkou a koly se nevyskytuje mechanické spojení. Veškerá hnací síla je na kola přenášena elektromotorem. Tento typ hybridu má blíže k elektromobilu (Cholakov, 2018).

1.6.2 Paralelní hybrid

Paralelní konfigurace hybridního vozidla zahrnuje přímé mechanické spojení mezi pohonnou jednotkou a koly jako u klasického typu vozidla, ale je pro pohon také využit elektromotor. Paralelní vozidlo může používat elektromotor např. pro zrychlení a spalovací motor pro cestu po dálnici (Cholakov, 2018).

1.6.3 Kombinovaný hybrid

Kombinace sériového a paralelního hybridního pohonu se vyznačuje svou složitostí, ale využívá myšlenku hybridu nejvíce naplno. Stýkají se zde motor, motor-generátor a elektromotor v jediném uzlu. Jedná se o planetové soukolí označováno jako e-CVT pro svůj zvukový projev. Spalovací motor obvykle pracuje s Atkinsonovým cyklem. Hlavní výhodou je, že každý motor může pohánět vozidlo zvlášť, nebo dohromady. Mezi nevýhody patří vysoká pořizovací cena (Dusil, 2016).

1.7 Emise

Evropská zelená dohoda, tzv. Green Deal, vytvořená Evropskou Komisí, si klade za cíl urychlit přechod na udržitelnou a inteligentní mobilitu zajištěním dopravy výrazně znečišťující životní prostředí, zejména v městském prostředí. Akční plán pro nulové znečištění, který rovněž spadá pod Green Deal, má za úkol snížit do roku 2030 úmrtnost v důsledku znečištění ovzduší o 55 % a do roku 2050 snížit úmrtnost způsobenou znečištěním ovzduší na úroveň, která již není považována za škodlivou pro lidské zdraví. (Mullholland et al. 2021).

V současnosti Evropská Komise připravuje novou emisní normu EURO 7. Pro její zavedení existují tři varianty. Varianta první: tzv. mírná varianta, kdy se mírně sníží současné limity normy EURO 6AP. Druhá varianta by měla za úkol snížení emisí více přísněji oproti variantě 1 a navíc zavést měření skleníkových emisí. Poslední varianta je nejdrastičtější, nejenže zahrnuje varianty 1 a 2, navíc by zavedla i online monitoring emisí vozidla během jeho provozu. Každé nové vozidlo, by tedy muselo neustále nejen monitorovat ale i odesílat své emise po celou dobu životnosti vozu. Tato varianta by musela být anonymní a zcela bez zásahu uživatele vozidla. Taková funkce by ovšem měla neblahý vliv na cenu vozidla a teoreticky i na jeho provoz. Automobilový výrobci se obávají, že by to znamenalo konec spalovacího motoru na území EU. Někteří již ukončili jakýkoliv vývoj spalovacího motoru a pomocí hybridních vozidel pomalu přecházejí na čistě elektrický pohon, například Renault. Norma chce údajně emise snížit až na 30 g/km, tedy 3krát méně než EURO 6d. Pravděpodobně budou hybridy jedinou možnou variantou zachování „spalováku“, ovšem nejspíše pouze v sériovém provedení. Norma EURO 7 je plánována na rok 2025 (Vrchota, 2021).

Ruská invaze na Ukrajinu, v době psaní práce, ovšem podle některých zdrojů znamenala konec Green Dealu. Sankce uvalené na Rusko ovlivňují i EU a její členské

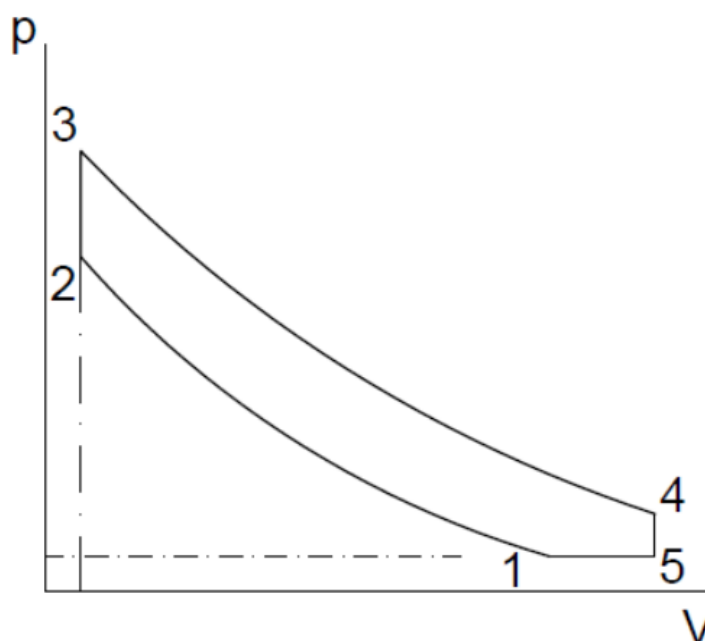
státy. Zemní plyn, který byl uváděn jako jedno z paliv do budoucnosti, je v Evropě z velké části odebírán právě z Ruska. Jak se bude situace dále vyvíjet sice není jasné, Green Deal ovšem v současné podobě musí být minimálně upraven, aby byl v budoucnosti znovu použitelný podle nově vzniklé situace (Mastantuono, 2022).

2 Spalovací motory s prodlouženou expanzí

Spalovací motory s prodlouženou expanzí lze svým způsobem označit za pětidobé. Borský takto označil motor Mazdy Xedos 9 MCE, vybavený Millerovým cyklem (Borský, 2017).

2.1 Atkinsonův cyklus

James Atkinson popsal svůj cyklus již v roce 1882 (obrázek č. 2.1). Hlavní rozdíl mezi Atkinsonovým a Ottovým cyklem je, že kompresní zdvih je kratší než zdvih expanzní. Díky tomu dochází k většímu využití energie ze zapáleného paliva pro pohyb pístu během expanzní fáze. Navíc je Atkinsonův cyklus více efektivní než Ottův. Složitost a náročnost na spojení klikové hřídele s pístem za účelem zkrácení kompresního zdvihu v porovnání s expanzním zdvihem, je důvodem nepříliš častého použití tohoto cyklu. Nevýhodou Atkinsonova cyklu je nižší litrový výkon. Další nevýhodou je velké riziko pulzací zpět do sacího systému motoru a vytlačování směsi zpět do sání. Použití s nepřímým vstřikováním tedy není příliš vhodné. Tohoto cyklu je možné dosáhnout použitím klikového mechanismu, který umožňuje prodloužit dráhu pístu při expanzi, a naopak zkrátit dráhu jeho pohybu při kompresním zdvihu. Další způsob dosažení Atkinsonova cyklu lze dosáhnout změnou časování sacích ventilů posunutím jejich zavření až během kompresního zdvihu, tím lze dosáhnout jeho zkrácení. Smíšeným odvodem a přívodem tepla se o ideální tepelný oběh (Böhm, 2017), (Remek, 2012).



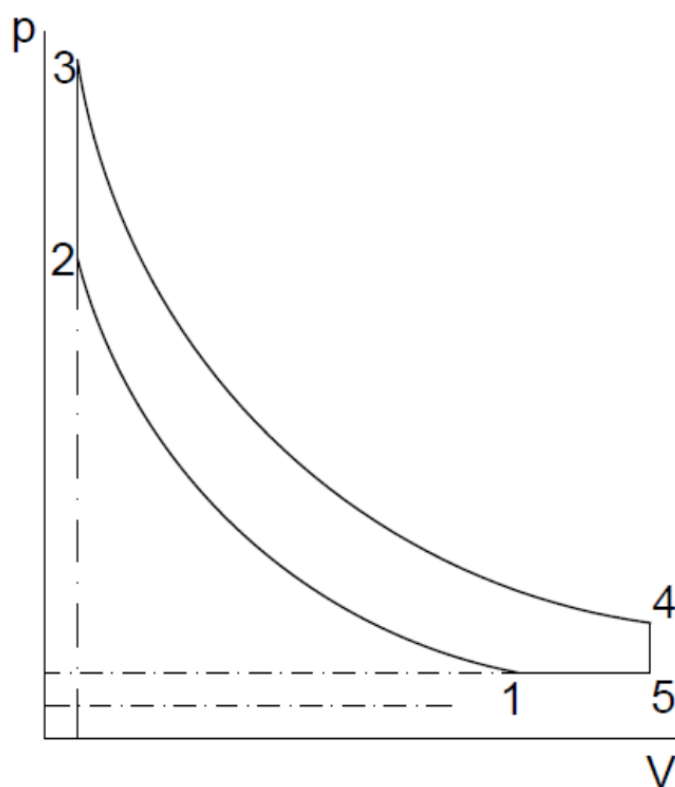
Obrázek 2.1 Atkinsonův cyklus (vut.cz, 2017)

Moderní motory vybaveny Atkinsonovým cyklem jsou atmosféricky plněné s proměnným časováním, použité ve vozidlech, kde nevadí jejich nižší specifický výkon např hybridní vozidla (Böhm, 2017), (Remek, 2012).

2.2 Millerův cyklus

Millerův cyklus (obrázek č. 2.2) pracuje velmi podobně jako Atkinsonův. Hlavní rozdíl je v použití pro přeplňované motory. Millerův cyklus je vyznačován pozdějším uzavřením sacích ventilů. Dochází tedy opět k vrácení části směsi zpět do sacího potrubí. (Böhm, 2017).

Při následné kompresi není potřeba překonávat vysoký tlak a zvyšuje se účinnost motoru. Svým způsobem lze cyklus označit za pětidobý, protože doba komprese je zdvojená. Díky tomu dochází k snížení spotřeby a zvýšení výkonu. Z důvodu rozdílných tlaků, je potřeba motor vybavit přeplňováním (Remek, 2012).



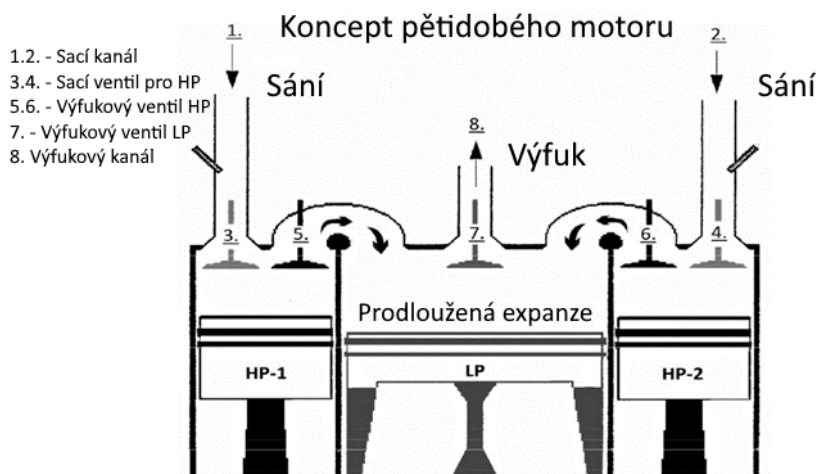
Obrázek 2.2 Millerův cyklus (vut.cz, 2017)

3 Pětídobý spalovací motor

Dilema klasického spalovacího motoru, který pracuje na principu Ottova cyklu je: vysoký výkon potřebuje co nejnižší kompresi, a vyšší účinnosti je dosaženo vysokým expanzním poměrem. Vysoký expanzní poměr se ovšem rovná vysokou hodnotu komprese. Vyšší účinnost spalovacího motoru se váže na velikost expanzního poměru, díky kterému dochází k přeměně většího množství tepelné energie na mechanickou práci ovšem za účelem zlepšení účinnosti motoru nelze snížit kompresní poměr, ale zvýšení expanzních poměrů může zvýšit účinnost motoru (Noga a Sendyka, 2014).

3.1 Koncept pětídobého motoru Ilmor

Pětídobý spalovací motor je koncept vytvořený Gerhardem Schmitzem na začátku nového milénia. Tento motor je dále vyvíjený společností Ilmor Engineering Ltd sídlící ve Velké Británii. Motor je realizován jako řadový tříválec s plochým klikovým hřídelem, zalomeným po 180°. Dva válce pracují na principu klasického čtyřdobého spalovacího motoru, označované jako HP (high pressure, vysoký tlak) (obrázek č. 3.1) (Muragadoss et al., 2016).



Obrázek 3.1 Popis pětídobého motoru (researchgate.net, 2016)

Tyto válce pomáhají udržet nižší kompresní poměr. Mezi těmito válci se nachází větší třetí válec označovaný LP (low pressure, nízký tlak). Objem LP je téměř dvojnásobný oproti HP. Do tohoto válce odchází spaliny z HP, kde jsou využity jako síla pro pohyb pístu. Dodáním spáleného paliva do tohoto válce dochází ke zvýšení expanzního poměru a ke snížením teploty emisních spalin. Jejich odvod jen z jednoho válce, a tak může být výfukový systém jednodušší, včetně impulzní přeplňování. Spaliny odchází střídavě, vždy je jeden HP válec v době komprese

a druhý HP v době výfuku. Objem LP je téměř dvojnásobný oproti HP. Koncept je vybaven dvěma vačkovými hřídeli (obrázek č. 3.2), kdy jeden ovládá pouze výfukové ventily expanzního válce (Muragadoss et al., 2016).

Otáčky tohoto vačkového hřídele jsou neobvykle stejné, jako otáčky hřídele klikového, oproti druhému vačkovému hřídeli, který se otáčí klasicky pomaleji (2:1). Důvodem stejných otáček klikového a tohoto vačkového hřídele, je nasávání a vyplachování expanzního válce, každou otáčku motoru. Tento válec je tedy možné označovat jako dvoutaktní, jelikož dochází k jeho pracovnímu oběhu během jedné otáčky klikové hřídele (Joshi, 2017).



Obrázek 3.2 Koncept Ilmor (vnexpress.net, 2009)

3.2 Pracovní oběh pětidobého motoru

Pracovní oběh se v některých fázích neliší od čtyřdobé varianty. Změna nastává u posunu fáze výfuku na pátou dobu a přidáním prodloužené expanze (Joshi, 2017).

1. Sání
2. Komprese
3. Expanze
4. Prodloužená expanze
5. Výfuk

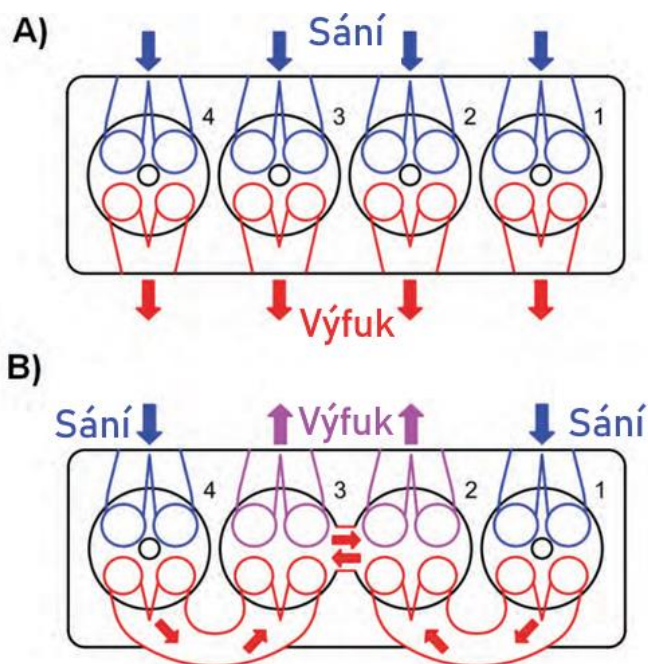
Tabulka č. 3.1 popisuje pracovní doby a jednotlivé činnosti každého z pístů motoru při různých natočeních klikového hřídele.

Tabulka 3.1 Pracovní oběh pětidobého motoru (researchgate.net, 2016)

Pracovní doba	Pracovní proces ve vysokotlakém válci HP-1	Pracovní proces ve nízkotlakém válci LP	Pracovní proces ve vysokotlakém válci HP-2
Doba 1.	Nasání zápalné směsi	Výfuk ven z válce	Vykonání práce
Doba 2.	Komprese směsi	Prodĺoužená expanze	Výfuk do LP
Doba 3.	Vykonání práce	Výfuk ven z válce	Nasání zápalné směsi
Doba 4.	Výfuk do LP	Prodĺoužená expanze	Komprese směsi
Doba 5.	Nasání zápalné směsi	Výfuk ven z válce	Vykonání práce

3.3 Koncept pětidobého motoru Krakovské technologické univerzity

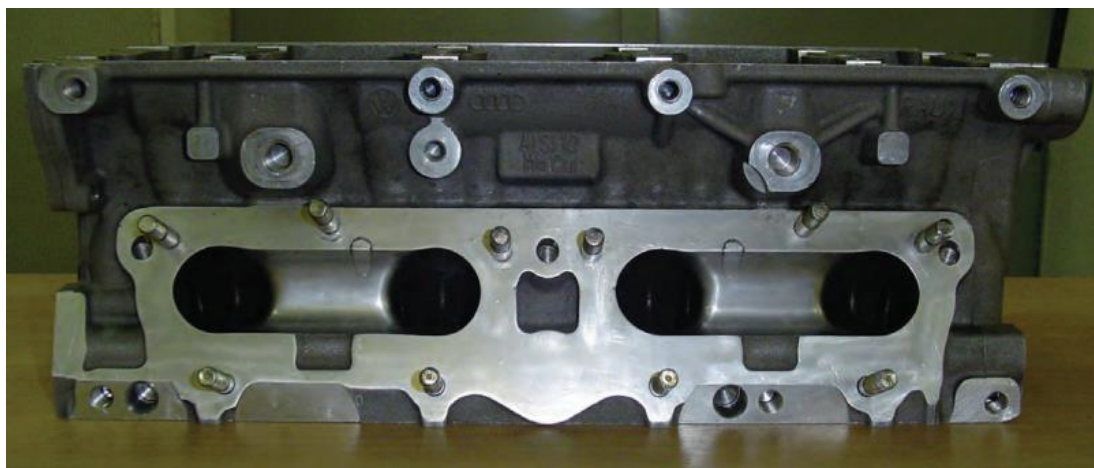
Dokumenty o konceptu pětidobého motoru, poskytnuté Gerhardem Schmitzem a firmou Ilmor, bohužel neobsahují žádné podrobné výsledky testů, pouze teoretické porovnání emisních hodnot s klasickým čtyřdobým spalovacím motorem. Díky tomu bohužel ztrácí koncept motoru hodnotu z vědeckého hlediska. Předseda katedry spalovacích motorů Krakovské univerzity technologického výzkumu, vydal požadavek na zkoumání vlivů použití pětidobého motoru, týkající se celkové efektivnosti a emisí. Z důvodů vysoké finanční a technologické náročnosti na vývoj a výrobu pětidobého motoru, bylo rozhodnuto použití klasického čtyřdobého motoru se čtyřmi válci, který bude následně upraven, pro potřeby koncepce, viz obrázek č.3.3 (Noga a Sendyka, 2013).



Obrázek 3.3 Koncept pětidobého motoru Krakovské univerzity (infana.pl, 2013)

Vybraný motor byl univerzitě darován koncernem Volkswagen AG. Zvolen byl agregát Audi Si, řadový čtyřválcový zážehový motor, přepíňovaný turbodmychadlem, obchodně značený 2.0 TFSI. Objem motoru řady EA113 je 1,984dm³ a disponuje maximálním výkonem 147 kW, který je k dispozici v rozmezí 5500-6000 min^{-1} . Každý píst je vybaven čtyřmi ventily, jedná se tedy o 16 ventilový motor s dvěma vačkami. Odlišností proti starším modelům řady, je agregát vybaven přímým vstřikováním benzínu do válce (Noga a Sendyka, 2013).

Motor byl ve své původní podobě podroben testování na testovací stoličce pro vytvoření reference k výsledkům pětidobé upravené varianty. Konec provedení všech testů znamenal začátek prací na úpravách pro pětidobý cyklus. Blok, kliková hřídel, vyvažovací hřídele a písty nemusely být vůbec upravovány. Veškeré úpravy se týkaly vačkových hřídelů a hlavy válců. Dále bylo upraveno sací a výfukové potrubí, systém přepíňování a další doplňkové komponenty. Na obrázku č. 3.4 jsou vidět propojovací výfukové kanály mezi 1 a 2 válcem i mezi válci 3 a 4 umožňující proudit výfukové plyny z krajních válců do prostředních za účelem prodloužení expanzní doby (Noga a Sendyka, 2013).



Obrázek 3.4 Upravená hlava válců pro pětidobý koncept Krakovské univerzity (infana.pl, 2013)

Na obrázku č. 3.5 je zobrazen nove vytvořený kanál přímo mezi spalovacími komorami 2 a 3 válce. Jeho průměr by se měl rovnat průměru výfukového kanálu (Noga a Sendyka, 2013).

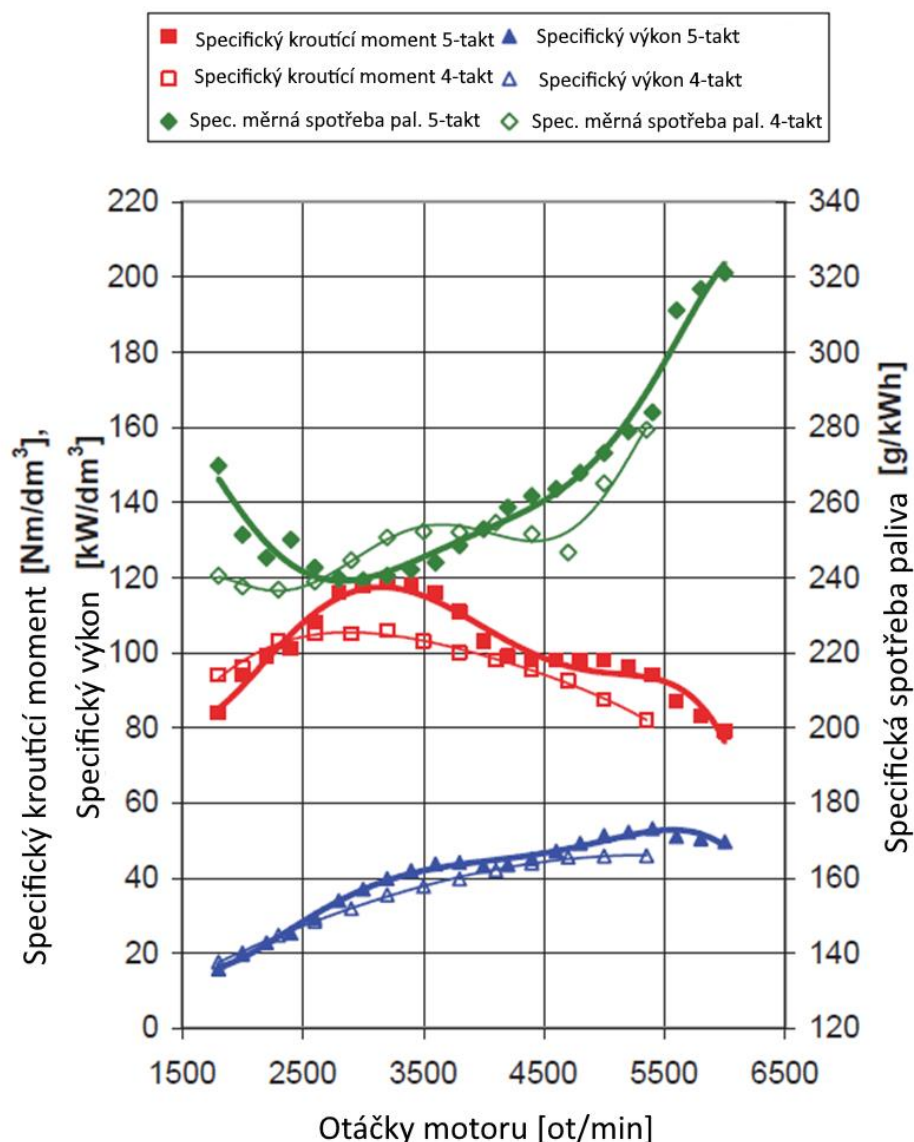


Obrázek 3.5 Kanál mezi spalovacími komorami 2 a 3 válce (infana.pl, 2013)

3.4 Výsledek testů pětiodobého motoru Krakovské univerzity

Výsledkem předběžného testu lze pokládat graf porovnání točivého momentu, měrného výkonu a měrné spotřeby paliva pro pětiodobý motor a čtyřdobý motor. Zkušební motor v pětiodobém provedení má poloviční zdvihový objem oproti čtyřdobé variantě, aby se tedy usnadnila analýza získaných výsledků, krouticí moment a efektivní výkon na obrázku č. 3.6 jsou udávány na 1 dm^3 zdvihového objemu motoru. V grafu je zobrazen nárůst měrného výkonu a specifický točivý moment generovaný motorem v pětiodobé variantě. Specifická spotřeba paliva pětiodobého motoru vykazuje příznivý průběh čtyřdobého motoru v rozsahu otáček cca 2600 až asi 3900 min^{-1} (Noga a Sendyka, 2013).

Plně otevřená škrtková klapka; stoichiometrický;
přepřehování turbodmychadlem



Obrázek 3.6 Porovnání křivek měrného točivého momentu, měrného výkonu a měrné spotřeby paliva pro pětidobý motor (infana.pl, 2013)

Výzkum pětidobého motoru Krakovskou univerzitou označil motor jako velmi zajímavý koncept z výzkumného hlediska. Následující fáze studie se týkala analýzy provozu při částečném zatížení, získání optimálního nastavení regulačních parametrů díky minimalizaci spotřeby paliva a stanovení emisí složek výfukových plynů, jako je uhlík, oxid uhelnatý, oxid uhelnatý, nespálené uhlovodíky a oxid dusíku (Noga a Sendyka, 2013).

4 Cíle práce a metodika

Cílem práce je vytvoření vlastního modelu konceptu pětidobého motoru a porovnání s jeho soudobou podobou v čtyřdobé variantě. Jako inspirace je použit samotný koncept značky Ilmor, vytvořený Gerhard Schmitzem. Pro odlišení od původní studie je použito jiného uspořádání válců a jejich počet.

Nejprve bylo potřeba zjistit, jak pětitačtní koncept Ilmor funguje zvolit vhodnou koncepci motoru, získat potřebné informace a technické specifikace jiných motorů, jejichž rozměry jsou již ověřené svou funkcí v klasické konvenční podobě spalovacího motoru neboli čtyřdobé koncepci.

Pro realizaci konceptu bylo použito programu Autodesk Inventor Professional 2022. Jedná se o parametrický 3D CAD program, vytvořený k modelování různých součástí a modelů. Slouží k navrhování strojírenských digitálních konceptů, či prototypů. Program byl zvolen pro své intuitivní ovládání a umožňuje vytvoření 3D modelů všech součástí pětidobého konceptu. Společnost Autodesk poskytuje studentům licenci k vybraným programům z vlastní knihovny bezplatně.

Pomocí programu Inventor byly navrženy a vytvořeny jednotlivé komponenty modelu motoru. Komponenty byly následně složeny v sestavu konceptu motoru. Tyto komponenty byly připraveny pro 3D tisk.

5 Návrh konceptu 5 - taktního motoru

5.1 Zvolení koncepce uspořádání válců

Pro vytvoření konceptu pětidobého motoru je nejprve potřeba zvolit uspořádání jeho válců. Každá koncepce sebou nese určité výhody a nevýhody v případě jejich použití. Rozdíl lze také nalézt v požadavcích vozidla například pro maximální výkon vozidla, či co nejsnazší zástavbu do motorového prostoru. Ne každá koncepce je v případě pětidobého motoru vhodná. Pro co nejlepší využitelnost je potřeba, aby motor byl vybaven minimálně dvěma HP válci, které budou využívat LP válce/válců pro potřeby prodloužené expanze. Jednoválcová HP koncepce by způsobovala přílišné nevyvážení klikové hřídele a běhu motoru. Použití pouze jednoho HP a LP by znamenalo nejen potřebu dvou otáček hřídele pro jedinou dobu expanze a s tím související jednu dobu prodloužení expanze. Každá druhá otáčka motoru by tedy znamenala zbytečné zbrzdění otáčení klikové hřídele, poněvadž by LP válec v tu chvíli nevykonával žádnou práci.

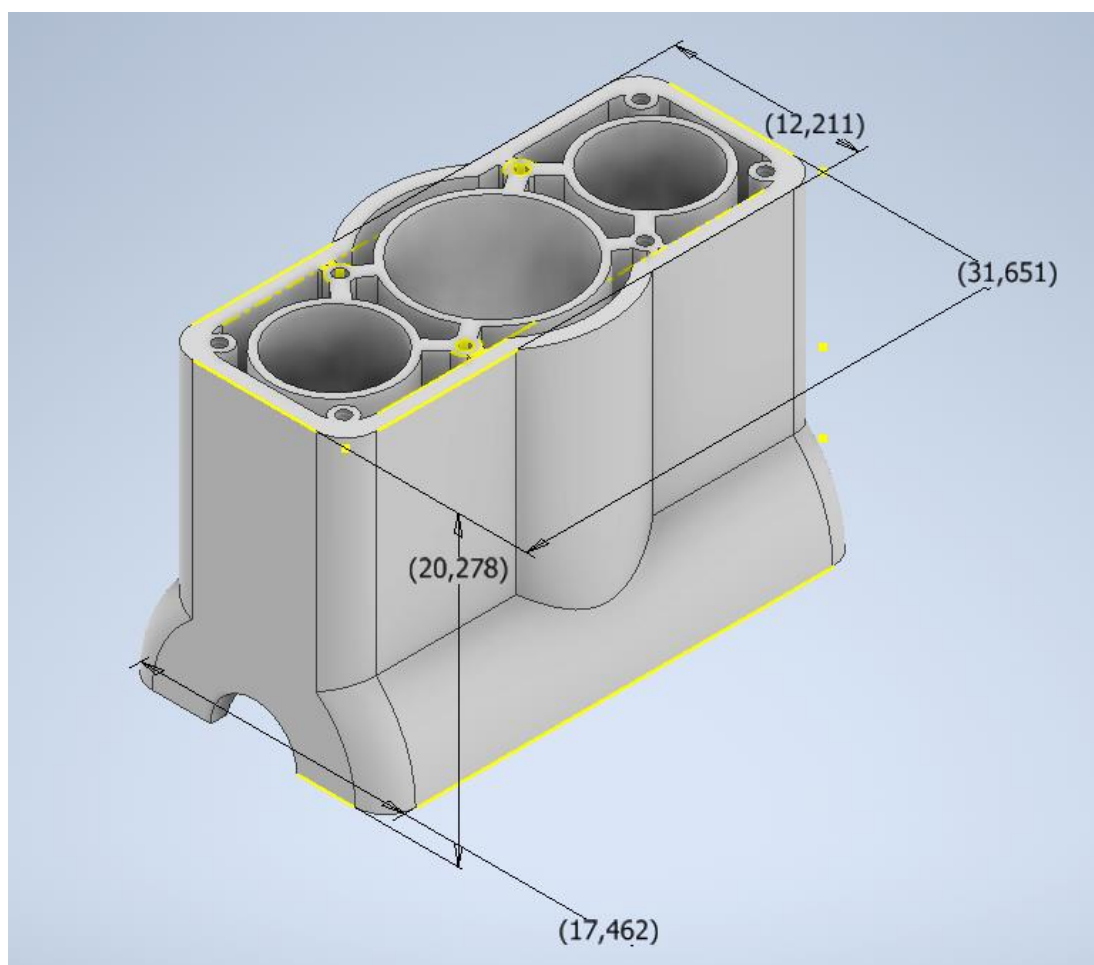
5.1.1 Koncepce řadového uspořádání válců

Řadové uspořádání k nejpoužívanější koncepci v automobilovém průmyslu. Jeho největší výhodou je jednoduchost, válce jsou umístěny v řadě za sebou. Počet válců je v podstatě neomezen, nejvíce používaný počet válců je 2, 3, 4, 5, 6. Mezi výhody patří jednoduchý klikový hřídel, pouze jedna hlava motoru, vybavena jedním nebo dvěma klikovými hřídeli (Harsh)

Pro potřeby pětidobého konceptu je nejvhodnější počet válců 3 a 6, kdy vždy dva HP válce využívají k potřebě prodloužení expanze jednoho LP.

Koncepce řadového pětidobého tříválcového bloku motoru

Řadový tříválcový motor je ze všech uspořádání nejjednodušší. Tuto koncepci používá i samotný koncept vytvořený firmou Ilmor. Stejně jako zmiňovaný koncept Ilmor je blok konceptu vlastní konstrukce motoru (obrázek č. 5.1) vybaven dvěma HP válci a jedním LP válcem. Jeho objem je dvojnásobný oproti válci LP. Rozměry válců byly inspirovány motorem 1.3 Renault TCE. Kliková skříň je uvažována jako dělená. Jelikož se jedná o koncept určený pro vytvoření modelu byl vytvořen v měřítku 1:10 pro možnost vytisknutí pomocí 3D tiskárny.

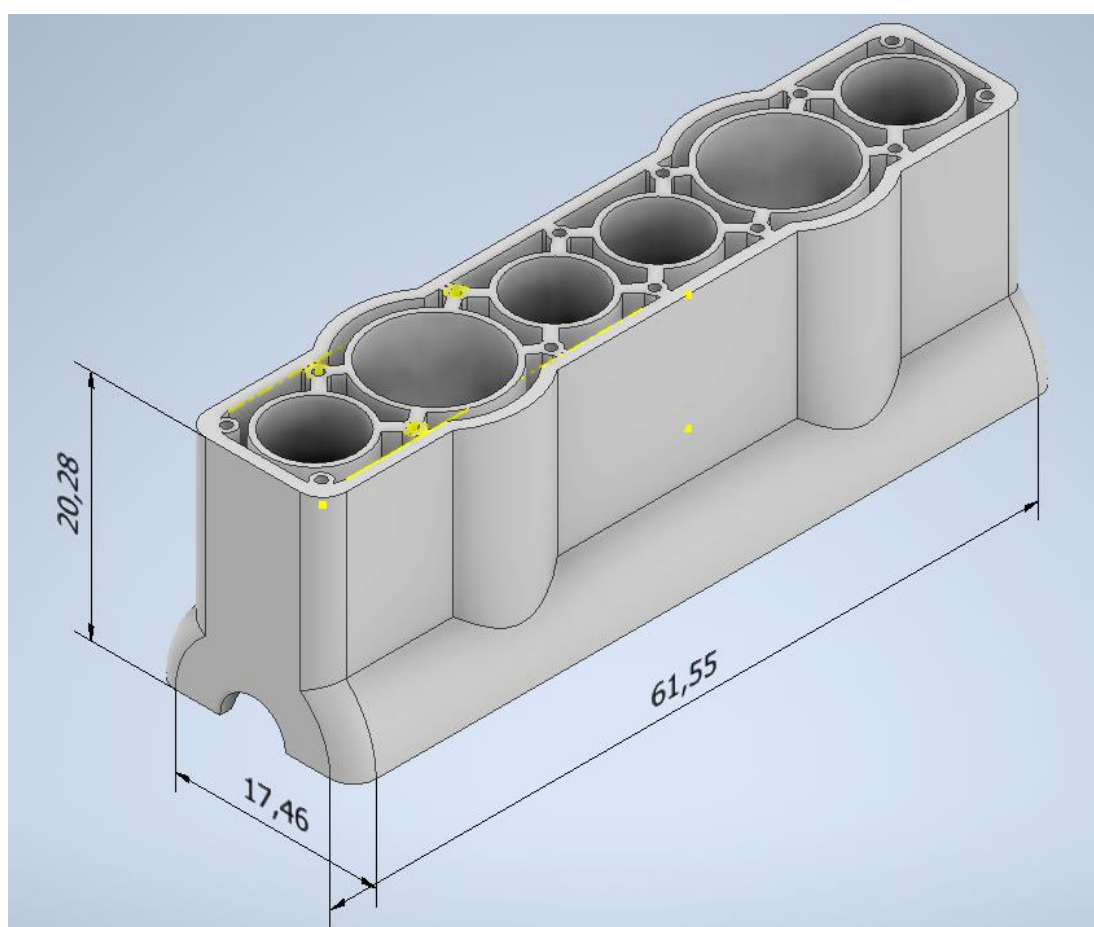


Obrázek 5.1 Vlastní koncept bloku řadového pětidobého tříválcového motoru

Jedná se o koncept bloku, který je vytvořen odlitím, oproti konceptu Ilmor, jež je tvořen blokem s vloženými vložkami válců. Jeho výhodou je jednodušší výroba a ekonomická stránka samotné výroby. Nevýhodou je složitost opravy poškození či zúžení stěny válce.

Koncepce řadového pětidobého šestiválcového bloku motoru

Za účelem odlišení a zároveň možnosti rozsáhlejšího využití pětidobého motoru, byl vytvořen koncept bloku pro řadový šestiválcový motor. Ten je vybaven čtyřmi HP válci a dvěma LP válci (obrázek č. 5.2). Ve své podstatě se jedná o dva tříválcové bloky spojené dohromady. Využití tohoto konceptu by se hodilo spíše pro sportovní automobily, kde je potřeba vyššího výkonu a samotná koncepce se hodí k charakteru vozidla. Nejznámější automobilkou využívající řadové šestiválcové motory, je v dnešní době BMW, které je známo jejich použitím ve svých sportovních modelech divize M Power.



Obrázek 5.2 Blok řadového šestiválcového pětidobého motoru

Stejně jako tříválcová varianta řadového provedení válců, je koncept bloku vytvořen odléváním. Jako značná nevýhoda se může jevit jeho délka bez příslušenství, řadový šestiválcový motor proto není vhodný pro příčnou zástavbu do vozidla. Další nevýhodou by mohla být konstrukce klikové hřídele, která se jeví složitá na vyvážení, z čehož vyplývá nutnost použití vyvažovacích hřídelů.

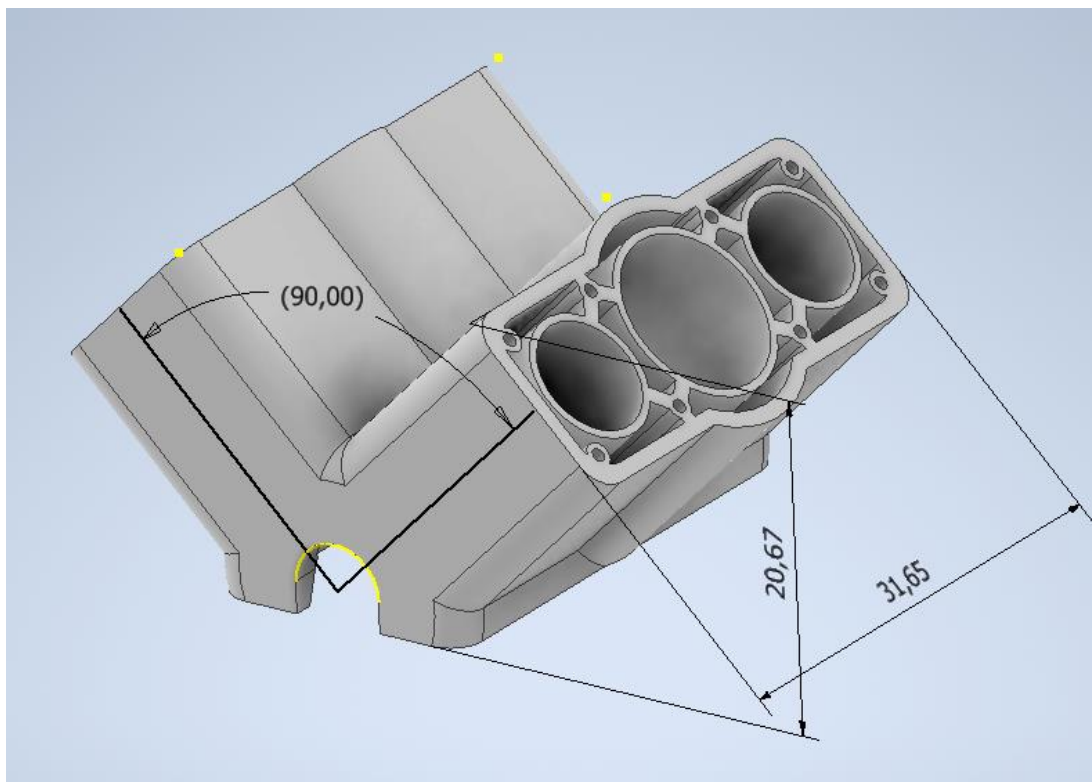
5.1.2 Koncepce rozložení válců do V

Víceválcové motory mohou být v řadovém provedení příliš dlouhé. Z označení písmenem V pramení koncepce uspořádání válců. Vidlicové motory umísťují písty obvykle mezi 60° a 90° . Počet válců převažují sudá čísla: 2, 4, 6, 8, 10, 12. Vidlicové dvouválcové motory můžeme najít převážně v motocyklech, spolu s motory V4. Vítaná jsou i lichá čísla, přičemž nejčastější je motor V5. Motory V jsou opěvovány pro svůj točivý moment v nízkých otáčkách a hladký chod, například motor V12 nejenže poskytuje dobré hodnoty výkonu, ale nabízí perfektní primární a sekundární vyvážení (Butler).

Ovšem ne všechny vidlicové motory jsou perfektně vyvážené. Obvyklé uspořádání v $60^\circ - 90^\circ$ není pravidlem. Volkswagen je známý svou produkcí motorů značených VR, úhel sevření válců je v tomto případě mezi $10^\circ - 15^\circ$. Tyto motory se odlišují od klasických vidlicových motorů pouze jednou hlavou válců (Butler).

Koncepce vidlicového pětidobého šestiválcového bloku motoru

Nevýhodnost použití řadového šestiválcového motoru ve většině dnes masově produkováných aut lze nahradit jeho uspořádáním do V. Toto uspořádání se vyskytuje menší délkou, a tudíž vhodností pro příčné uložení motoru. Řešení příčného uložení znamená nejen kratší před vozem, či větší prostor pro posádku vozidla, umožňuje i mnohem jednodušší konstrukci převodovky pro pohon předních kol. Mezi další výhody příčného uložení lze zařadit možnost umístit motor co nejblíže kabině vozidla, tím lze zajistit menší přední převis a zároveň eliminovat váhu navíc umístěnou před přední nápravou, způsobující nedotáčivost automobilu.



Obrázek 5.3 Koncept bloku vidlicového šestiválcového pětidobého motoru

Koncept bloku pětidobého V6 (obrázek č. 5.3) je vytvořen pro odlévací metodu. V případě uspořádání do V, oproti řadovému, se jedná o složitější řešení na výrobu i konstrukci. Úhel sevření válců 90° je pro šestiválcový koncept neobvyklý a používán spíše pro V8. Rozhodnutí vytvoření 90° sevření se lépe hodí pro nezvyklou konstrukci bloku s rozdílnou velikostí objemu jednotlivých válců. 4 HP válce jsou inspirovány rozměry motoru Renault 1.3 TCE a 2 LP vlastní konstrukce disponují dvounásobným objemem. Konstrukční zajímavostí je nulové posunutí každé řady válců vůči sobě, inspirováno motory Harley Davidson. Použití by znamenalo speciální konstrukci ojnic, tzv. obkročných.

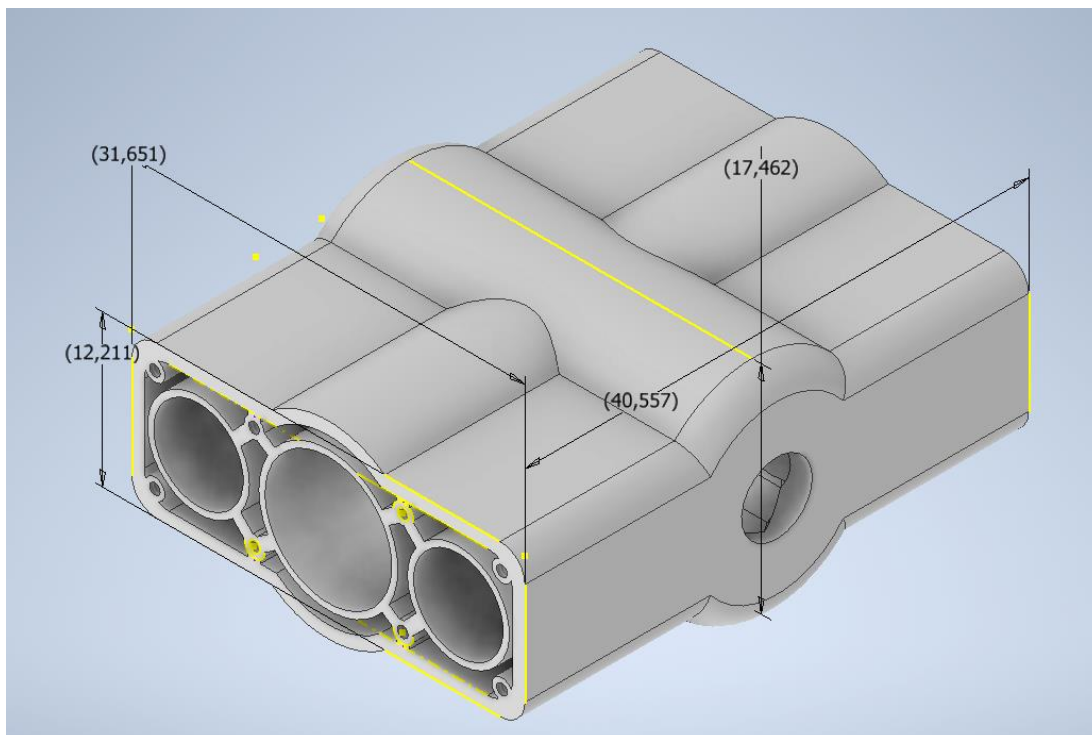
5.1.3 Koncepce plochého rozložení válců

Tento koncept poprvé představil v roce 1897 německý inženýr Karl Benz. Jedná se o motor s protilehlými vodorovně umístěnými písty. Nejznámější plochý motor je boxer. Klasický plochý motor a boxer se ovšem odlišují v konstrukci klikové hřídele, tudíž v závislosti pístů jedno na druhém. Mylnou představu, že boxer a plochý motor je ten samý, vytvořilo Ferrari modelem 512 Berlinetta Boxer, v jehož útrobách se ovšem nacházel plochý 180° V dvanáctiválcový motor. Stupně a písmenko V mohou napovědět skutečnost, že klasický plochý motor je ve své podstatě vidlicový

s úhlem sevření válců 180° . Hlavní rozdíl je v konstrukci klikové hřídele, kdy první válec je v horní úvratí a druhý protilehlý v úvratí dolní. Písty Boxeru se pohybují zrcadlově, pokud je píst jedna v horní úvratí, stejně tak je píst dva (Ghayad, 2021).

Koncepce plochého pětidobého šestiválcového bloku motoru

Současný automobilový průmysl klasický plochý motor ignoruje, Variantu boxer používají pouze dvě automobilky: Porsche ve svých modelech 911, které disponují šesti válci a Subaru známé svými čtyřválcovými variantami.



Obrázek 5.4 Koncept bloku pětidobého šestiválcového plochého motoru

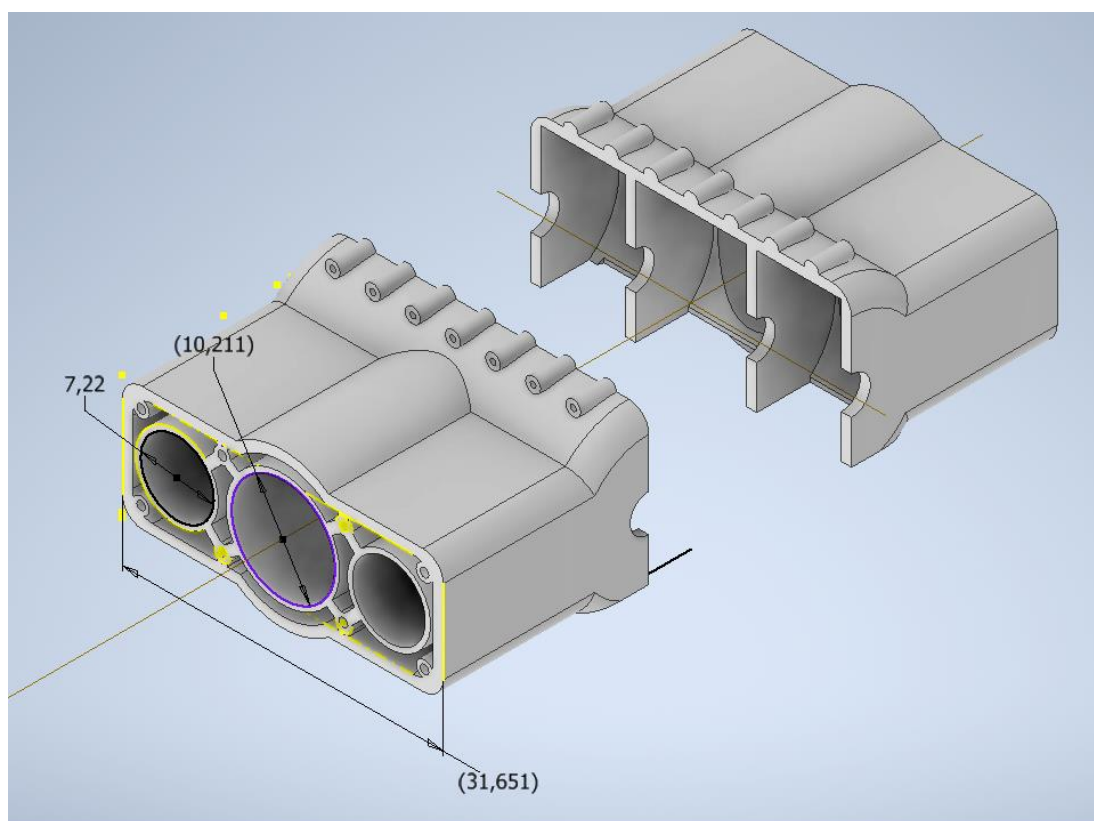
Koncept bloku (obrázek č. 5.4) je vytvořen pomocí dvou řadových bloků spojených proti sobě. Blok je tvořen 6 válci, dvěma LP a čtyřmi HP. Stejně jako přechází koncepty jsou HP vytvořeny dle motoru Renault 1.3 TCE. Objem LP se rovná dvounásobku objemu HP. Při zachování stejného zdvihu byla zvětšena pouze velikost vrtání LP. Blok je určen pro klasickou variantu plochého motoru. Jednotlivé poloviny nejsou proti sobě posunuté, což způsobuje nutnost použití obkročných ojníc. Ty jsou nevhodné pro použití ve variantě boxer, protože první a druhý válec musí svůj chod zrcadlit, zatím co obkročné ojnice chod mezi protilehlými válci obrací.

6 Realizace návrhu konceptu pětiodobého motoru

Vytvořením konceptů pro konstrukci bloků válců vzniklo mnoho návrhů pro realizaci vlastního návrhu pětiodobého motoru.

6.1 Blok motoru

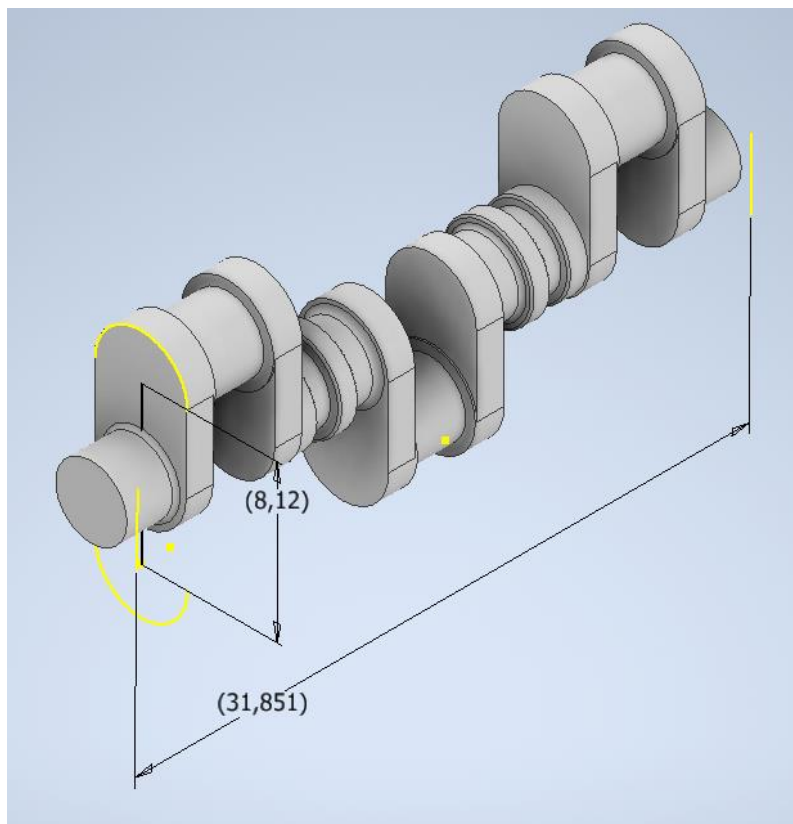
Koncept bloku pro pětiodobý motor byl vybrán plochý (obrázek č. 6.1), jež je možné označit jako 180° vidlicový šestiválec. Blok musel být pro potřeby realizace mírně upraven pro reálné použití vytvořením spojovacích bodů, z důvodu uložení klikové hřídele. Ta je uložena uprostřed bloku, tudíž blok musí být rozdělen na bloky dva. Vrtání HP válců bylo inspirováno motorem Renault 1.3 TCE zmenšeného v měřítku 1:10. Rozměr vrtání HP válce je 7,22 mm, vrtání LP válce bylo zvoleno 10,21 mm, pro zdvojnásobení objemu válce při zachování stejného zdvihu pro všechny válce.



Obrázek 6.1 Blok konceptu plochého pětiodobého motoru

6.2 Kliková hřídel

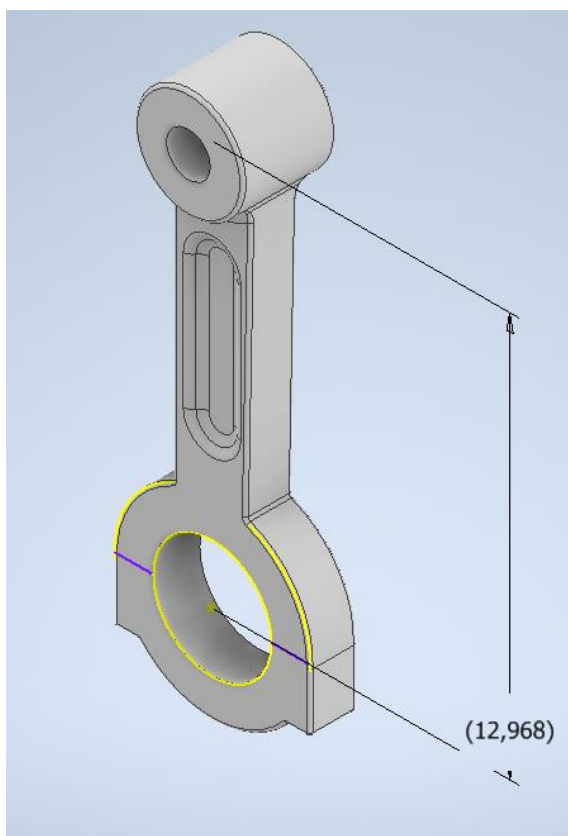
Návrh klikového hřídele (obrázek č. 6.2) byl vytvořen podle inspirace původního konceptu Ilmor. Jedná se o plochý klikový hřídel uložený na čtyřikrát. Hlavním rozdílem byla nutnost upravit prostor pro uložení ojnice, jelikož zde musí být uloženy ojnice dvě, oproti jedné. Vyvážení pro potřeby konceptu nebylo nutné, obzvláště v případě plochého motoru, kdy písty s ojnici mohou působit jako protizávaží. Pro zachování stejného zdvihu pro LP i HP písty, je průměr všech „klik“ stejný. Zdvih byl inspirován, stejně jako vrtání, motorem Renault 1.3 TCE v měřítku 1:10.



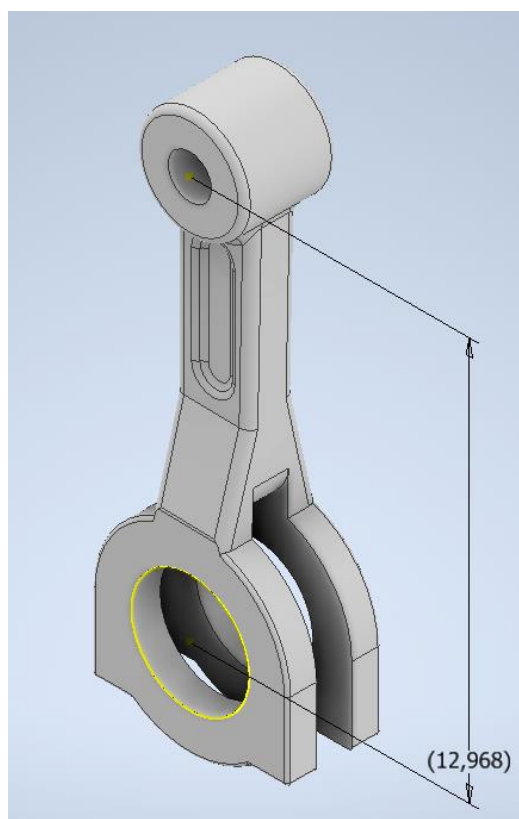
Obrázek 6.2 Návrh modelu klikové hřídele

6.3 Ojnice

Ojnice spojující klikový hřídel s písty, byly vytvořeny dvě. Jedna klasická (obrázek č. 6.3) a druhá speciální (obrázek č. 6.4), tzv. obkročná. Z důvodu neposunutí bloků vůči sobě, jsou protilehlé písty v jedné ose. Díky tomu bylo za potřebí navrhnout speciální konstrukci ojnice, která je uložena přes opačnou ojnici a zachová tak pohyb ve stejné ose. Ojnice jsou navrženy, aby mohli být vsunuté do sebe a mohli a mohli se společně pohybovat nezávisle na sobě.



Obrázek 6.3 Návrh klasické ojnice

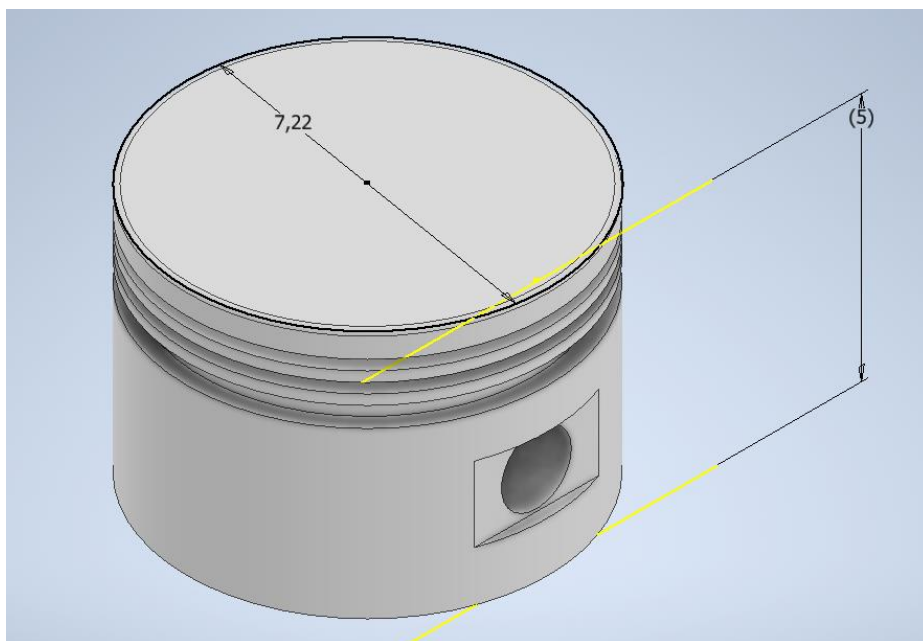


Obrázek 6.4 Návrh speciální obkročné ojnice

6.4 Písty

6.4.1 HP píst

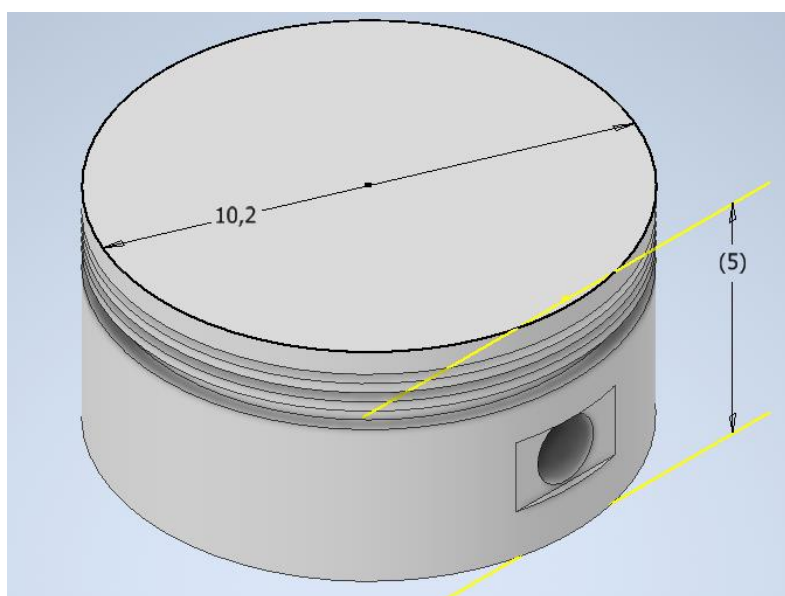
HP píst (obrázek č. 6.5) je tvořen jednoduchou konstrukcí s rovným dnem pístu. Rozměr byl stejně jako vrtání inspirován motorem Renault 1.3 TCE. V boku pístu jsou dva zářezy pro stírací kroužky a jeden pro těsnící.



Obrázek 6.5 Návrh HP pístu

6.4.2 LP píst

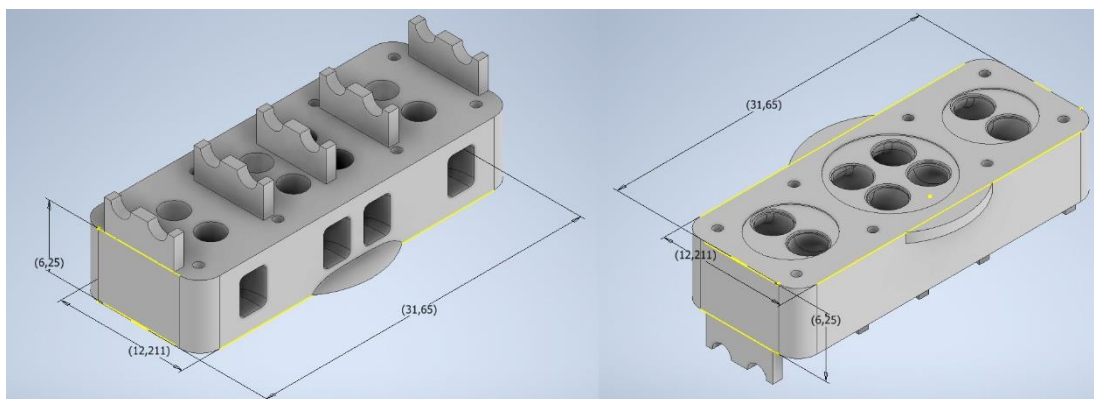
LP píst (obrázek č. 6.6) se vyznačuje stejnou konstrukcí jako HP. Rozdíl je v průměru pístu z důvodu nutnosti větší plochy dna pístu.



Obrázek 6.6 Návrh LP pístu

6.5 Hlava motoru

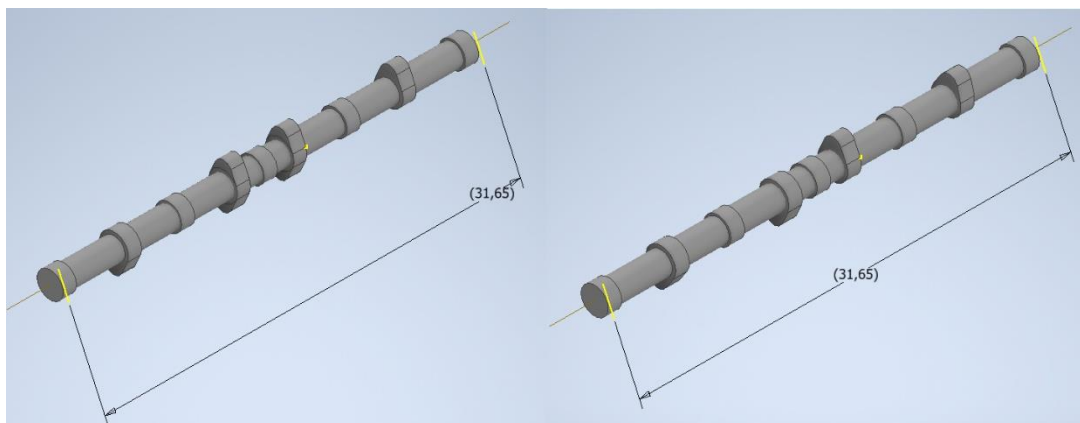
Hlava motoru (obrázek č. 6.7) byla vytvořena podle původního tvaru bloku. Disponuje osmi ventily: čtyřmi pro LP válec a dvěma pro každý HP válec. Ventily jsou ovládány dvěma vačkovými hřídeli. Samotná konstrukce doznala několika změn oproti originálnímu konceptu Ilmor. Každá z vačkových hřídelů ovládá čtyři ventily, oproti šesti ventilům ovládaných jednou vačkovou hřídelí a dvěma ventilům ovládaných vačkovou hřídelí druhou v případě Ilmoru. Další z konstrukčních změn doznal přemístění ventilů v HP válcích, kdy jsou ventily nyní naproti sobě, nahrazující variantu vedle sebe.



Obrázek 6.7 Návrh hlavy motoru

6.5.1 Vačkové hřídele

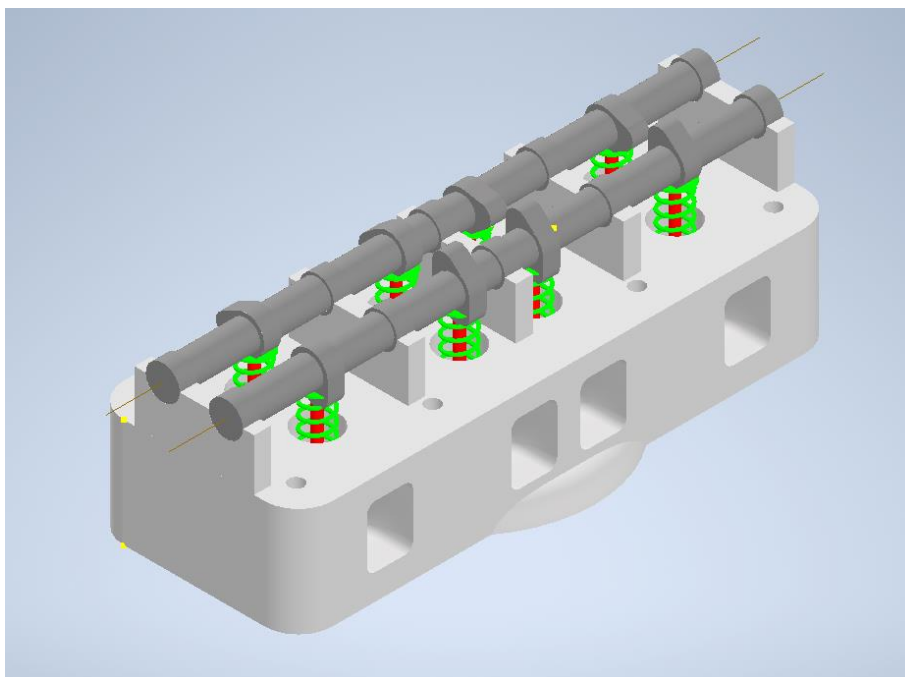
Nově vytvořené vačkové hřídele (obrázek č. 6.8) se liší v několika ohledech oproti konceptu Ilmor. Oba hřídele se narozdíl od Ilmoru otáčejí stejnou rychlostí, tedy dvakrát menšími než otáčkami klikové hřídele. Nutnost otevírat výfukové ventily LP válce každou otáčku klikové hřídele si vynutili speciální konstrukci jedné z vačkových hřídelí. Samotné vačky otevírající tyto ventily jsou „oboustranné“, neboli vrcholy samotné vačky jsou dva umístěné 180° proti sobě.



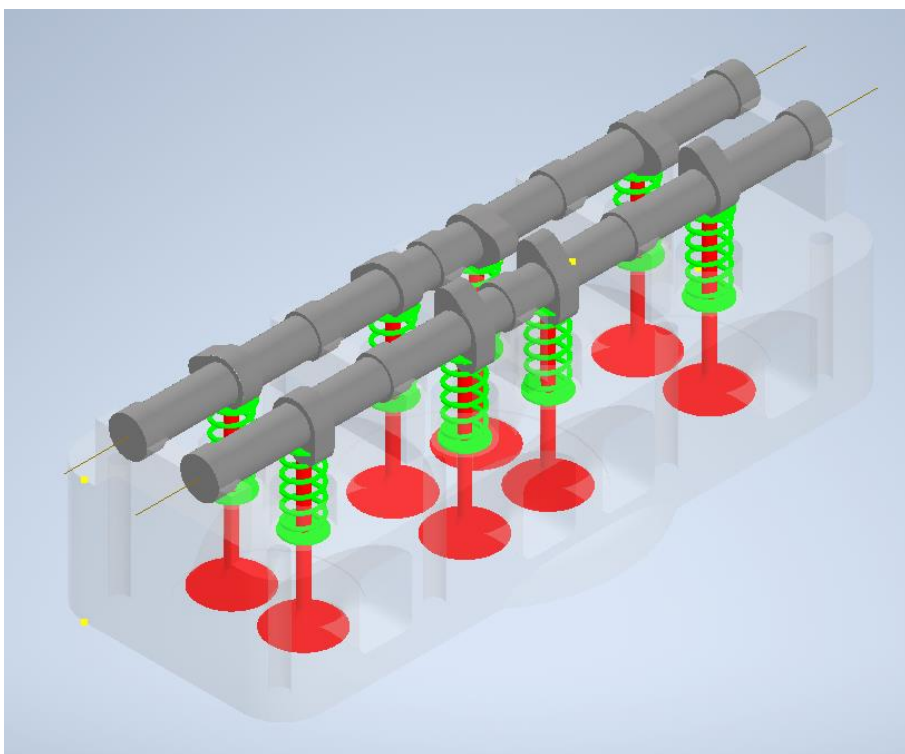
Obrázek 6.8 Návrh vačkových hřídelů

6.6 Sestava hlavy motoru

Obrázky č. 6.9 a č. 6.10 zobrazují kompletaci hlavy motoru doplněnou o vačkové hřídele, ventily a ventilové pružiny.



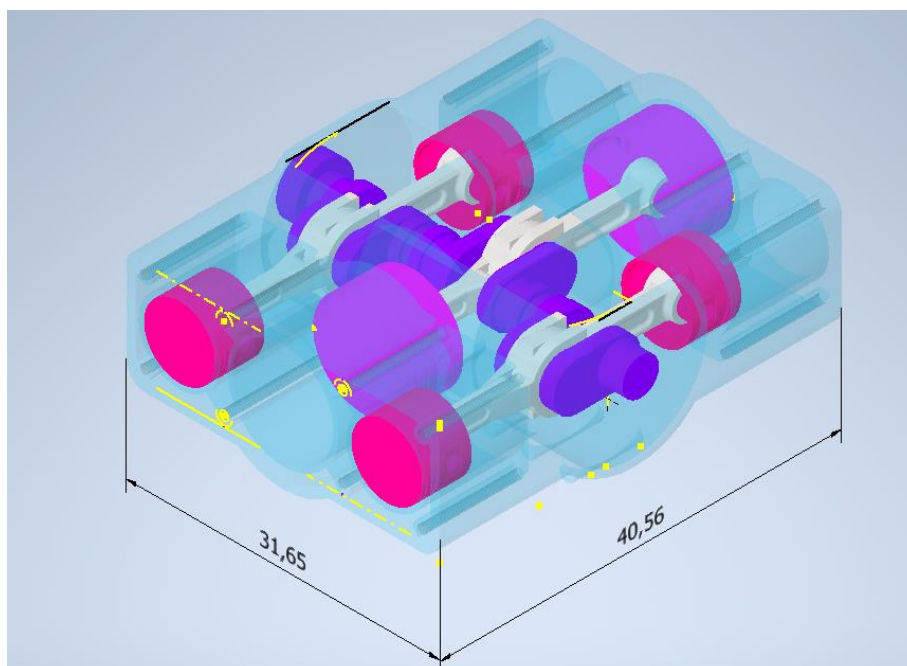
Obrázek 6.9 Osazená hlava motoru



Obrázek 6.10 Osazená hlava motoru průhledná

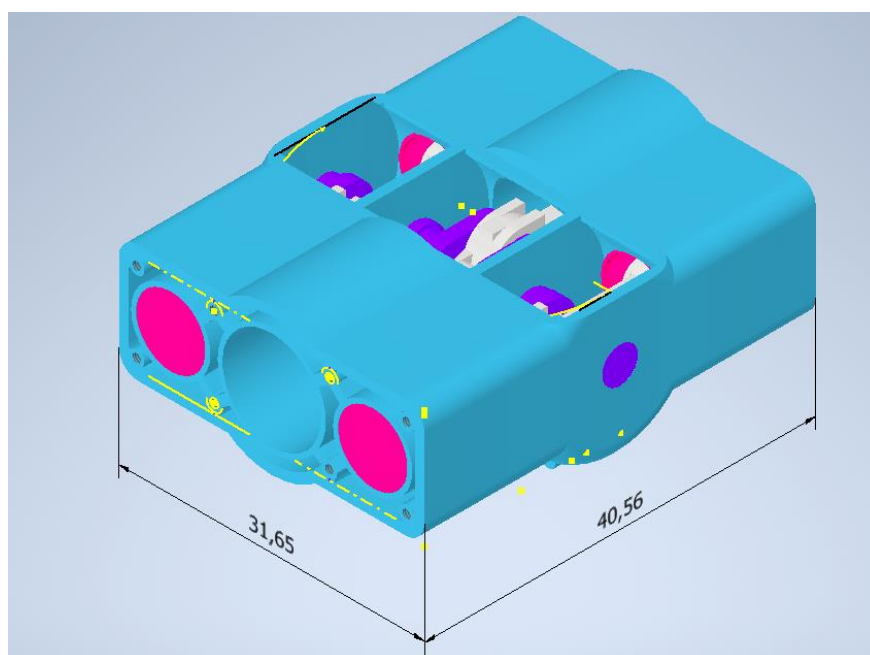
6.7 Sestava motoru

Blok (obrázek č. 6.11 a č. 6.12) byl osazen klikovou hřídelí, ojnicemi a písty. Po složení je možné vidět umístění pístů HP a LP vůči sobě.



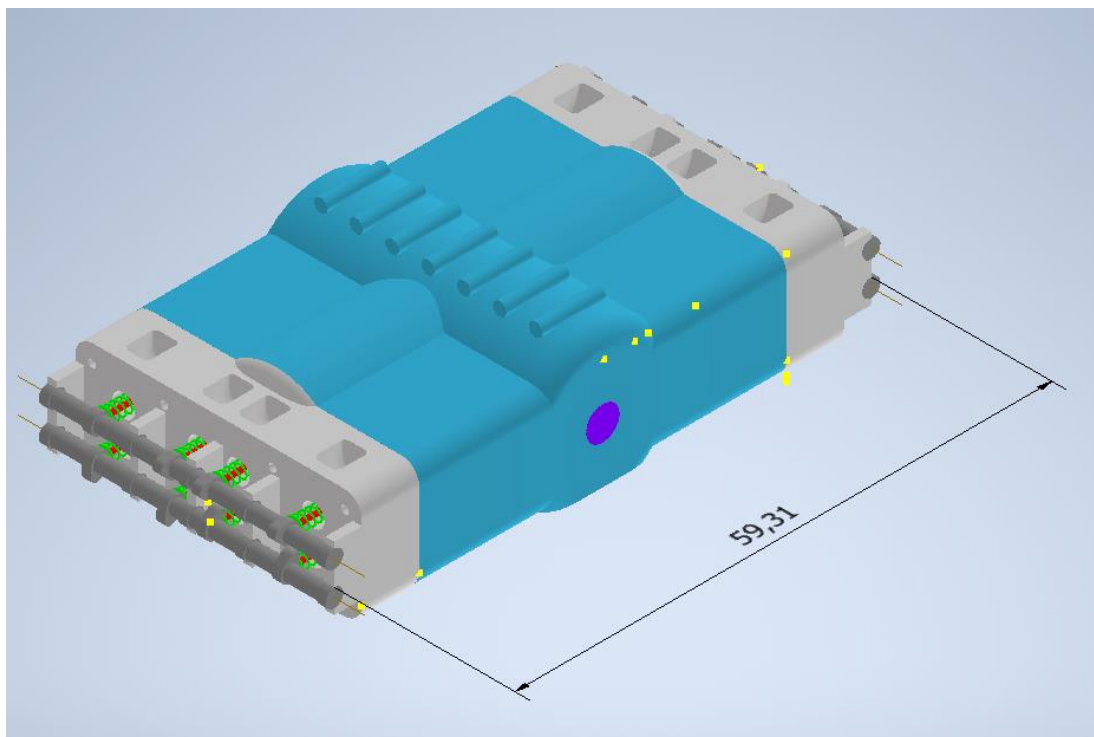
Obrázek 6.11 Osazený blok motoru průhledný ze spodu

HP písty (obrázek č. 6.11 a č. 6.12) jsou barevně odlišené jako tmavě růžové, LP písty jako světle růžové, kliková hřídel je fialové barvy a blok je tyrkysový. Ojnice šedivé barvy jsou v sobě vsunuté, využívající obkročné konstrukce.



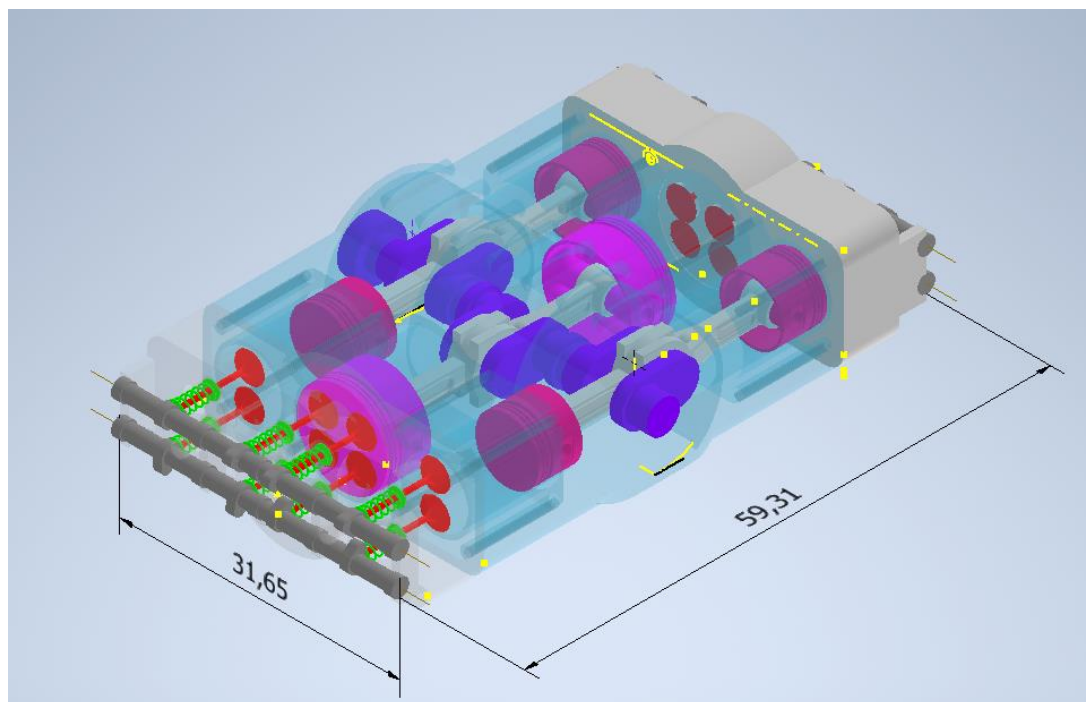
Obrázek 6.12 Osazený blok

Dále bylo nutné osadit blok motoru hlavou válců (obrázek č.6.13). Jako nevýhoda by se mohla jevit šířka osazeného motoru bez příslušenství.



Obrázek 6.13 Sestava motoru

Obr. č. 6.14 ukazuje barevně odlišenou sestavu motoru. Sestava je bez příslušenství a uvažována se suchou klikovou skříní.



Obrázek 6.14 Průhledný osazený blok motoru

7 Diskuse

Konstrukce s čtyřmi pracujícími HP válci umožňuje zrychlení klikové hřídele každou její půlotáčku. Mezi těmito půlotáčkami dochází k práci LP válců. Další teoretickou konstrukční variantou bloku může být konstrukce bloku W, jež byla použita například v původním konceptu Buggati W18, kdy budou HP válce umístěné po stranách a umístění LP válců uprostřed.

Nejzásadnějším rozdílem mezi oběma koncepcemi je účinnost. Celková činnost pětidobého motoru až o 37 % vyšší, při minimálním zatížení. oproti klasickému čtyřdobému motoru. Výkon atmosférického pětidobého motoru o objemu 750 ccm je stejný ekvivalentní čtyřdobému motoru o objemu 1200 ccm. Díky tomu umožňuje větší výkon se stejnými rozměry, či stejný výkon s menšími rozdíly. Muragadoss a další zkoumali zatížení čtyřdobého a pětidobého motoru se stejným výkonem (viz obrázek 7.1). Měření probíhalo v 4000 min^{-1} , Z výsledků lze odvodit téměř stejný kroutící moment v průběhu měření u obou motorů, ovšem v řádu desítek procent menší měrnou spotřebu paliva ve prospěch pětidobého motoru (Muragadoss et al., 2016).

Zatížení	Kroutící moment (N-m)		Celková účinnost (%)		Měrná spotřeba paliva (gm/kW-hr)		Porovnání (%)
	4- Takt	5- Takt	4- Takt	5- Takt	4- Takt	5- Takt	
5	5.5	5.5	11.1	17.8	757.9	471.3	37.8
10	11.1	10.9	17.6	26.4	478.3	318.6	33.4
20	22.1	22.0	24.8	35.2	338.6	239.2	29.4
30	32.9	33.0	28.7	38.2	292.8	220.2	24.8
40	44.0	43.8	31.2	39.0	269.4	215.8	19.9
50	55.0	54.7	32.9	39.7	255.7	211.7	17.2
60	66.0	65.7	34.1	40.5	246.7	207.5	15.9
70	77.1	76.7	35.0	41.4	240.3	203.0	15.5
80	88.1	87.9	35.7	42.3	235.7	198.9	15.6
90	99.1	98.8	36.2	43.1	232.3	195.2	16.0
100	110.0	109.9	36.6	43.6	229.6	192.9	16.0

Obrázek 7.1 Tabulka porovnání pětidobého a čtyřdobého motoru (reserachgate.cz, 2016)

Noga a Sendyka ve své práci týkající se úpravy klasického čtyřdobého motoru, na motor pětidobý, porovnali účinnost nového konceptu s jeho původní variantou. Testy byly provedeny v $1800\text{--}2000 \text{ min}^{-1}$, kdy celková efektivita vzrostla o 11 % respektive 19 % při 2000 min^{-1} (Noga a Sendyka, 2014).

Ilmor vidí budoucnost využití konceptu pětidobého motoru v motorsportu, například v MotoGP. Jedinou nevýhodou je přeplňování turbodmychadlem, které v současnosti pravidla MotoGP nepovolují a zároveň to v případě motocyklu může ztížit jízdní vlastnosti (Cope, 2009).

Závěr

Cílem této práce bylo shrnutí historie čtyřdobých a pětidobých motorů, popsání jejich funkčních principů a vytvoření vlastního modelu konceptu pětidobého motoru. Pro návrh konceptu bylo vytvořeno několik různých variant bloků s rozdílnými uspořádáními válců. Zvolen byl blok ploché konstrukce pro svou výhodu možnosti nízkého těžiště, krátké zástavby do vozidla a celkovou ojedinělost. Pro koncept motoru byly vytvořeny speciální obkročné ojnice s možností pracovat v jedné ose bez posunu bloku motoru a unikátní konstrukce vačkové hřídele otevírající dvakrát ten samý výfukový ventil během jedné otáčky klikové hřídele. Kliková hřídel byla vytvořena na základě klasické ploché klikové hřídele používané u tříválcových motorů, jelikož se ve své podstatě jedná o dva tříválcové motory spojené do jedné konstrukce.

Myšlenka pětidobého motoru spalujícího syntetická paliva by dokázala snížit emise o další procenta k cestě za lepším životním prostředím. Víceválcové varianty umožňující zástavbu do sportovních vozidel by přinášeli něco, co elektromobilům stále chybí. Ryzí charakter tvořený hlavně zvukem, který lze poznat již z dálky.

Seznam použité literatury

Böhm, M. (2017) *Termodynamická analýza Atkinsonova a Millerova cyklu*.
Bakalářská práce, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.

Borský, D. (2017). Mazda Xedos 9 MCE: Slepá ulička, nebo trefa do černého? [online]
autickar.cz [cit. 4.4.2022]. Dostupné z: <https://www.autickar.cz/clanek/mazda-xedos-9-mce-slepa-ulicka-nebo-trefa-do-cerneho/>

Butler. Your Complete Guide To V Engines. [online] arbuzz.com [cit. 30.3.2022].
Dostupné z: <https://carbuzz.com/car-advice/your-complete-guide-to-v-engines>

Cope, B. (2009). ILMOR DEVELOP 5-STROKE MOTOR. WHAT?. [online]
visordown.com [cit. 18.3.2022]. Dostupné z:
<https://www.visordown.com/news/general/ilmor-develop-5-stroke-motor-what>

Ghayad, A. (2021). Flat engine vs Boxer: Here's the Difference [online]
engineerine.com [cit. 30.3.2022]. Dostupné z:
<https://www.engineerine.com/2021/09/flat-engine-is-not-boxer-heres.html>

Harsh. Types Of Engine Layouts- Inline, V, VR, Rotary And More!. [online]
carbloginia.com [cit. 27.3.2022]. Dostupné z: <https://www.carbloginia.com/types-of-engine-layouts-inline-v-vr-rotary-and-more/>

Horejš, K. a Motejl, V. (2009). *Příručka pro řidiče a opraváře automobilů II.díl*. 4.
vyd. Littera, Brno. ISBN 978-80-85763-52-2

Cholakov, G. (2018). Hybrid vehicles. *The quality of air* 1(73)

Joshi, S. (2017) 5 stroke engine-a revolutionary pathway for efficient engine
performance. *International Journal of Current Research*. 9(1):44640-44642

Kruliš, J. (2015) *Studie vozidlového motoru s prodlouženou expanzí*, Diplomová práce,
Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní.

Mastantuono, A. (2022). Green Deal je mrtev, ať žije Green Deal. [online] euractiv.cz
[cit. 18.3.2022]. Dostupné z: <https://euractiv.cz/section/energeticka-bezpecnost/opinion/green-deal-je-mrtev-at-zije-green-deal/>

Mihálik, M. (2019). GM EV1 je smutnou připomínkou zrodu moderních elektroaut a mediální tragédie [online] autorevue.cz [cit. 24.3.2022]. Dostupné z: <https://www.autorevue.cz/gm-ev1-wiki-historie-pribeh-pocatku-moderni-elektromobility>

Mulholland, et al. (2021). Quantifying the long-term air quality and health benefits from Euro 7/VII standards in Europe. *International Council on Clean Transportation*, 1-13.

Muragadoss, et al. (2016). Five Stroke Internal Combustion Engine. *International Journal of Control Theory and Applications* 9(13):5855

Noga, M. a Sendyka, B. (2013). New design of the five-stroke si engine. *Journal of KONES Powertrain and Transport*. 20(1): 240-246

Noga, M. a Sendyka, B. (2014). Determination of the theoretical and total efficiency of the five-stroke si engine. *International Journal of Automotive Technology* 15(7): 1083-1089

Olanrewaju, E. (2021). *ELECTRIC CARS*. Ladoke akintola university of technology. DOI: 10.13140/RG.2.2.10095.15528

Remek, B. (2012). *Automobil a spalovací motor*. Grada Publishing, 1.vyd. Grada Publishing, Praha. ISBN 978-80-24735-38-2

Vrchota, M. (2021). Konec spalovacích motorů! Přísná norma Euro 7 má brzy vstoupit v platnost. [online] Elektrickévozy.cz [cit. 18.3.2022]. Dostupné z: <https://elektrickevozy.cz/clanky/konec-spalovacich-motoru-prisna-norma-euro-7-ma-brzy-vstoupit-v-platnost>

Ždárský, B. a Jan, Z. (2016). *Automobily 3 Motory*. 8. vyd. Avid, Brno. ISBN 978-80-87143-37-3

Seznam obrázků

Obrázek 1.1 Úplná charakteristika spalovacího motoru (dspace.cvut.cz, 2017).....	8
Obrázek 1.2 Doba sání (autoforum.cz, 2015)	10
Obrázek 1.3 Doba komprese (stlačování) (autoforum.cz, 2015)	11
Obrázek 1.4 Doba expanze (autoforum.cz, 2015).....	12
Obrázek 1.5 Doba výfuku (autoforum.cz, 2015)	13
Obrázek 1.6 Ventilový diagram čtyřdobého motoru (slideplayer.cz).....	13
Obrázek 2.1 Atkinsonův cyklus (vut.cz, 2017).....	18
Obrázek 2.2 Millerův cyklus (vut.cz, 2017)	19
Obrázek 3.1 Popis pětidobého motoru. 1/2 HP – vysokotlaké válce; LP-nízkotlaký válec; 1, 2-sací kanál; 3, 4-sací ventil pro HP; 5,6-výfukové ventily do expanzního válce; 7-výfukový ventil; 8-výfukový kanál (researchgate.net, 2016)	20
Obrázek 3.2 Koncept Ilmor.....	21
Obrázek 3.3 Koncept pětidobého motoru Krakovské univerzity (infana.pl, 2013) ...	22
Obrázek 3.4 Upravená hlava válců pro pětidobý koncept Krakovské univerzity (infana.pl, 2013).....	23
Obrázek 3.5 Kanál mezi spalovacími komorami 2 a 3 válce (infana.pl, 2013)	24
Obrázek 3.6 Porovnání křivek měrného točivého momentu, měrného výkonu a měrné spotřeby paliva pro pětidobý motor (infana.pl, 2013).....	25
Obrázek 5.1 Vlastní koncept bloku řadového pětidobého tříválcového motoru.....	28
Obrázek 5.2 Blok řadového šestiválcového pětidobého motoru.....	29
Obrázek 5.3 Koncept bloku vidlicového šestiválcového pětidobého motoru.....	31
Obrázek 5.4 Koncept bloku pětidobého šestiválcového plochého motoru	32
Obrázek 6.1 Blok konceptu plochého pětidobého motoru.....	33
Obrázek 6.2 Návrh modelu klikové hřídele	34
Obrázek 6.3 Návrh klasické ojnice	35
Obrázek 6.4 Návrh speciální obkročné ojnice	35
Obrázek 6.5 Návrh HP pístu	36
Obrázek 6.6 Návrh LP pístu.....	36
Obrázek 6.7 Návrh hlavy motoru.....	37
Obrázek 6.8 Návrh vačkových hřídelů.....	37
Obrázek 6.9 Osazená hlava motoru	38
Obrázek 6.10 Osazená hlava motoru průhledná	38

Obrázek 6.11 Osazený blok motoru průhledný ze spodu	39
Obrázek 6.12 Osazený blok	39
Obrázek 6.13 Sestava motoru	40
Obrázek 6.14 Průhledný osazený blok motoru	40
Obrázek 7.1 Tabulka porovnání pětidobého a čtyřdobého motoru (reserachgate.cz, 2016)	41

Seznam tabulek

Tabulka 3.1 Pracovní oběh pětiodobého motoru (researchgate.net, 2016).....	22
--	----

Seznam použitých zkratk

ICE	Internal combustion engine	Motor s vnitřním spalováním
HÚ	-	Horní úvrat' válce motoru
DÚ	-	Dolní úvrat' válce motoru
EGR	Exhaust gas recirculation	Recirkulace výfukových plynů
GM	General Motors	Výrobce automobilů
CVT	Continuously Variable Transmission	Plynulá převodovka (variátor)
EURO	-	Emisní norma EÚ
HP	High pressure	Vysokotlaký válec
LP	Low pressure	Nízkotlaký válec
CAD	Computer-aided design	Počítačem podporované kreslení
