

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ – FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV AUTOMOBILŮ, SPALOVACÍCH MOTORŮ A
KOLEJOVÝCH VOZIDEL**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Anotace

Jméno autora:	Radek Slavík
Studijní program:	B 2341 Strojírenství
Studijní obor:	3901R051 Konstruování podporované počítačem
Název tématu:	Návrh na konstrukci 1-válcového 2-dobého zážehového motoru
Název tématu anglicky:	Proposal for Design of 1-Cylinder 2-Stroke Spark-Ignition Engine
Rozsah práce:	40 stran, 1 tabulka, 25 obrázků, 10 příloh
Akademický rok:	2014/2015
Ústav:	U 12120 – Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel
Vedoucí diplomové práce:	Ing. Antonín Mikulec
Odborný konzultant:	Ing. Sergii Bogomolov
Anotace:	V programu Autodesk Inventor je vytvořen parametrický model jednoválcového dvoudobého zážehového motoru dle motoru Lawn-Boy. Parametry řídící rozměry modelu jsou vypočítány v programu Microsoft Excel. Práce dále obsahuje popis součástí motoru a základní pevnostní analýzu pístu.
Anotace anglicky:	In the program Autodesk Inventor is designed parametric model single-cylinder two-stroke spark-ignition engine according to the engine Lawn-Boy. Parameters controlling the dimensions of the model are calculated in the program Microsoft Excel. The work further includes a description of engine components and basic strength calculation of the piston.
Klíčová slova	motor, dvoudobý, zážehový, jednoválcový, parametrický model, pevnostní výpočet, píst
Klíčová slova anglicky	engine, two-stroke, spark-ignition, single-cylinder, parametric model, strength calculation, piston

Chtěl bych vyjádřit poděkování vedoucímu bakalářské práce Ing. Antonínu Mikulcovy za podklady a podporu při psaní této bakalářské práce. Dále mé rodině za podporu během celého mého studia.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pouze za odborného vedení vedoucího práce a konzultantů. Veškeré zdroje informací, ze kterých jsem čerpal, jsou uvedené v seznamu literatury.

V Praze dne 19. 6. 2015

.....

Radek Slavík

Obsah

Obsah	4
1 Úvod	6
2 Výpočetní programy	7
2.1 Microsoft Office Excel 2013	7
2.2 Autodesk Inventor 2013	8
2.3 Autodesk AutoCAD 2013	9
3 Motor Lawn-Boy V.	10
3.1 Technické údaje motoru	10
4 Dvoudobý zážehový spalovací motor	11
4.1 Princip práce	11
4.2 Paliva pro zážehové motory	13
4.2.1 Kapalná paliva	14
4.2.2 Plynná paliva	15
4.3 Způsoby tvoření směsi paliva se vzduchem	15
4.4 Rozvody dvoudobých motorů	16
4.5 Vyplachování spalovacího prostoru	17
4.6 Mazání	18
4.6.1 Mazání ztrátové	18
4.6.2 Mazání cirkulační	19
4.7 Chlazení	19
4.7.1 Chlazení přímé	20
4.7.2 Chlazení nepřímé	20
4.8 Výhody a nevýhody oproti čtyřdobým spalovacím motorům	21
4.9 Současné uplatnění	22
5 Parametrizace modelu	22
6 Modelování součástí motoru	23
6.1 Píst	23
6.2 Pístní kroužky	24
6.3 Pístní čep	25

6.4	Ojnice	25
6.5	Ložiska	26
6.6	Klikový hřídel	27
6.7	Blok motoru	28
6.8	Karburátor	29
6.9	Tlumič výfuku	30
7	Model motoru	31
8	Pevnostní výpočet motoru	32
8.1	Síly působící na píst	32
8.2	Pevnostní výpočet pístu	34
9	Závěr	36
	Seznam použitých symbolů a zkratk	37
	Seznam použité literatury	39
	Seznam příloh	40

1 Úvod

První dvoudobý tříkanálový motor byl postaven již roku 1879 Karlem Benzem. Většího uplatnění se však dočkal až v meziválečném období, a to hlavně u motocyklů a malých levných automobilů. Po druhé světové válce začal být pomalu vytlačován motory čtyřdobými, ale i dnes nalézá stále uplatnění v oblasti nejnižších objemů, kde je jeho největší výhodou jednoduchost konstrukce a nízká hmotnost. Již od doby svého vzniku prochází postupným vývojem, při kterém se konstruktéři snaží odstranit či alespoň omezit jeho nedostatky. Problémem je hlavně nízká účinnost spojená s vypouštěním velkého množství škodlivin do ovzduší, která je v současné době u motorů větších objemů s tříkanálovým rozvodem neakceptovatelná.

V současné době je vývoj realizován především s pomocí 3D CAD programů, které nám poskytují možnost vytvořit číslcový model v paměti počítače, na kterém můžeme rychle aplikovat změny v rozměrech, materiálu a celkové konstrukci součástí. Příklad jak tyto programy využít při návrhu spalovacího motoru je náplní této práce.

Obsahem této práce je návrh na konstrukci jednoválcového zážehového spalovacího motoru inspirovaným motorem Lawn-Boy, který je použit pro pohon sekačky. Cílem je vytvořit parametrický model, který bude pružně reagovat na změnu hodnot vstupních parametrů, a provést základní pevnostní analýzu zvolené součásti nebo systému motoru.

2 Výpočetní programy

Pro vytvoření parametrického modelu a skic s umístěním parametrů byly použity tyto výpočetní programy:

2.1 Microsoft Office Excel 2013

Pro výpočet parametrů byl použit program Microsoft Office Excel 2013 od americké firmy Microsoft Corporation. Program slouží k vytváření tabulek, jednoduchých i složitých výpočtů pomocí funkcí a grafů.

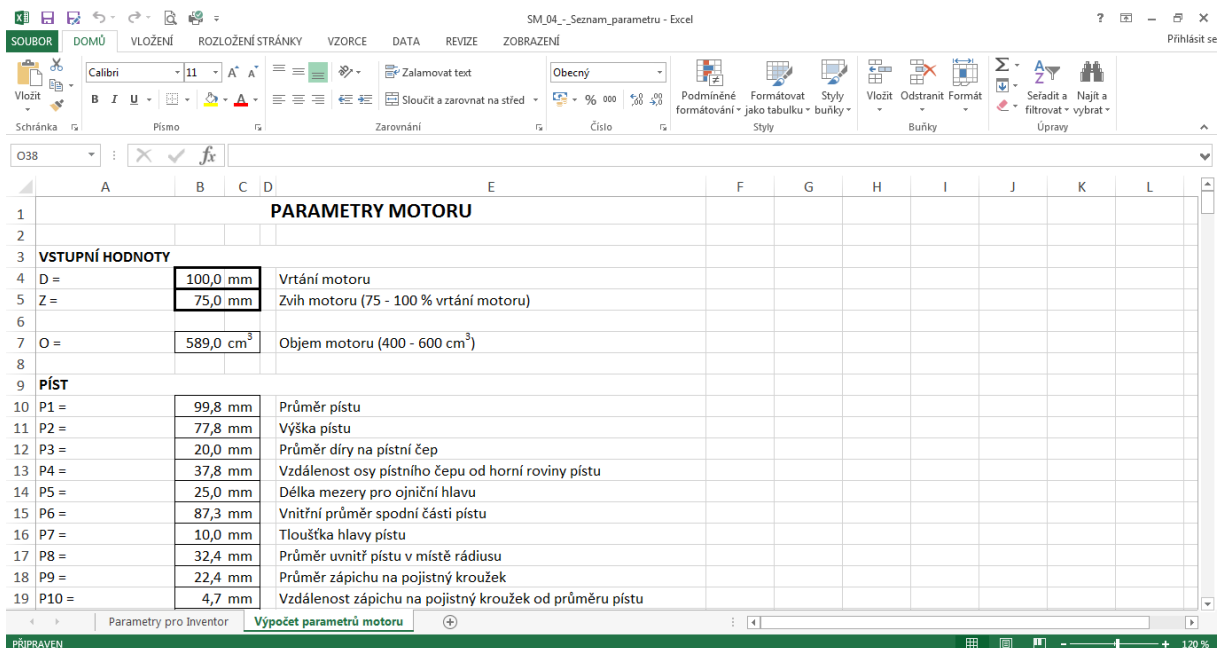
Příklad převodu výpočtu parametru „Vzdálenost mezi ložisky klikové skříně“ na listu „Výpočet parametrů motoru“ jako zápis do buňky v Excelu:

$$KS6 = KH2 + 2 * KH7 + 2 * KH6 \rightarrow$$

$$\rightarrow B138 = B92 + 2 * B97 + 2 * B96$$

Výsledek je poté kopírován na kartu „Parametry pro Inventor“, odkud je parametr přečten programem Autodesk Inventor.

$$B105 = 'Výpočet parametrů motoru'!B138$$

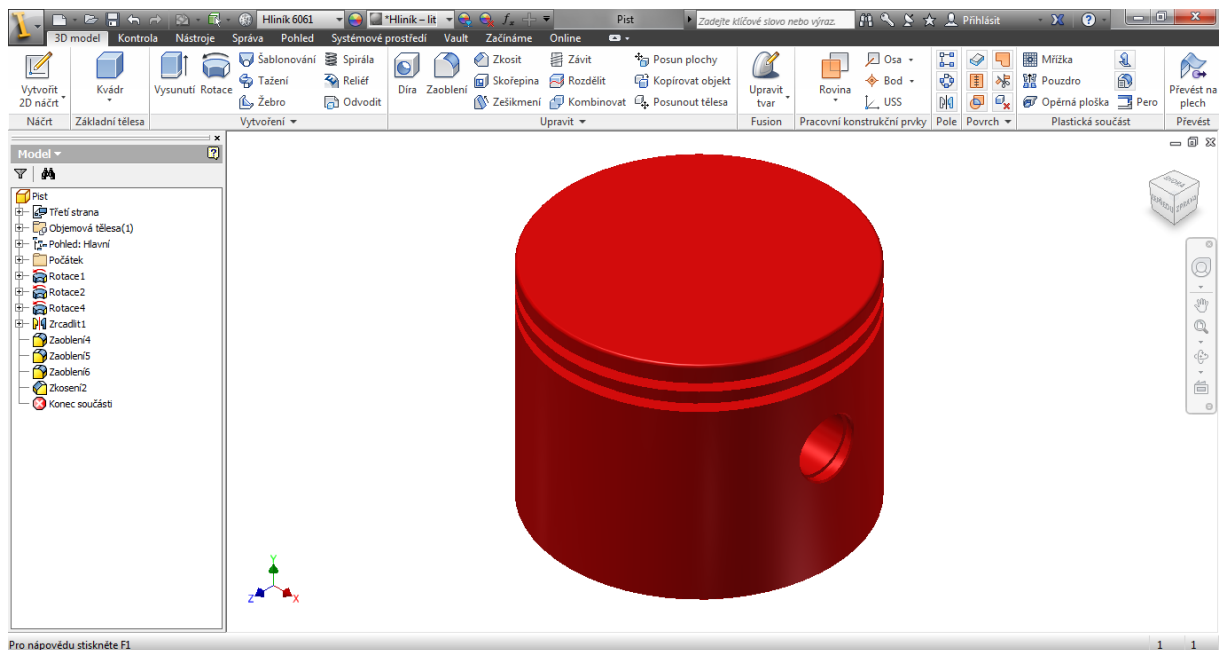


Obr. 1 Náhled okna programu Microsoft Office Excel 2013

2.2 Autodesk Inventor 2013

Pro vytvoření 3D modelu motoru byl použit program Autodesk Inventor 2013 od firmy Autodesk, Inc. Program slouží k adaptivnímu a parametrickému 3D navrhování, tvorbu 2D výkresové dokumentace, prezentace a fotorealistické vizualizace a animace.

Všechny parametry z Excelu jsou načteny a uloženy v seznamu parametrů, odkud jsou jejich hodnoty použity pro zakótování modelu.

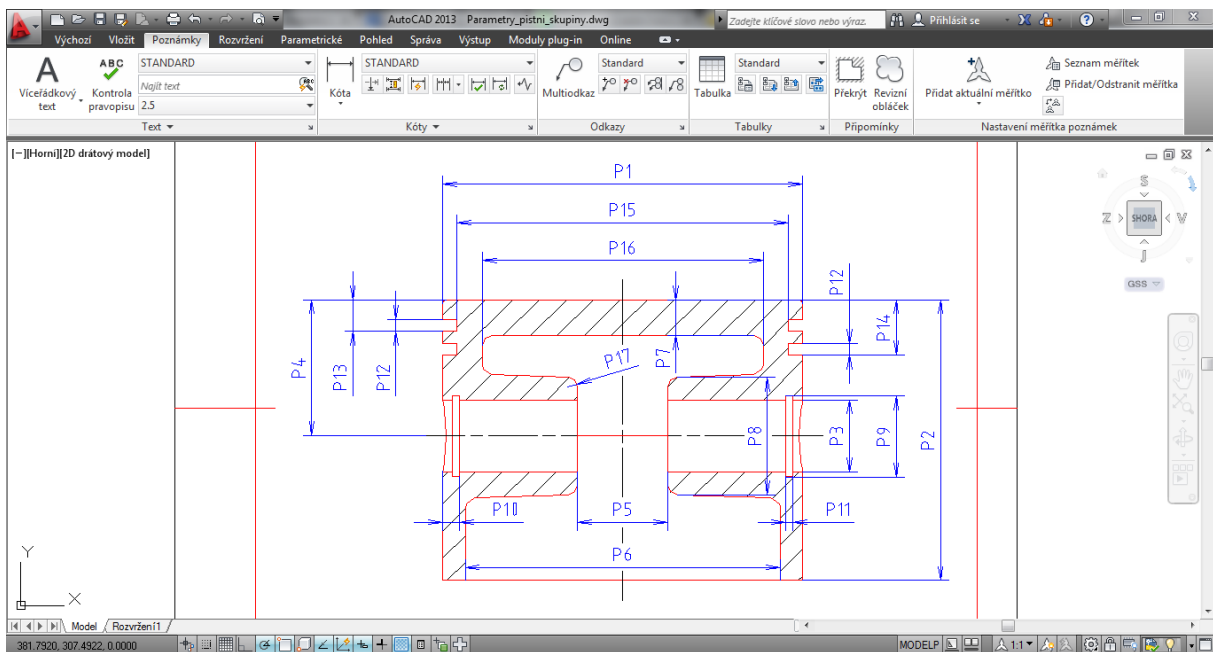


Obr. 2 Náhled okna programu Autodesk Inventor 2013

2.3 Autodesk AutoCAD 2013

Pro vytvoření skic s umístěním parametrů jednotlivých součástí byl použit program Autodesk AutoCAD 2013 od firmy Autodesk, Inc. Program slouží k 2D a 3D projektování a konstruování.

Pohledy byly vygenerovány ze 3D modelů jednotlivých součástí motoru v programu Autodesk Inventor a poté uloženy ve formátu dwg pro program Autodesk AutoCAD. Poté byly pohledy okótovány.



Obr. 3 Náhled okna programu Autodesk AutoCAD 2013

3 Motor Lawn-Boy V

Pro vytvoření parametrického modelu motoru je použit jako vzor jednoválcový dvoudobý motor Lawn-Boy série V. Motor je použit pro pohon sekaček Lawn-Boy Silver Series Lawnmower.



Obr. 4 Motor Lawn-Boy V [1]

3.1 Technické údaje motoru

Vybrané technické údaje motoru jsou uvedeny v Tab. 1

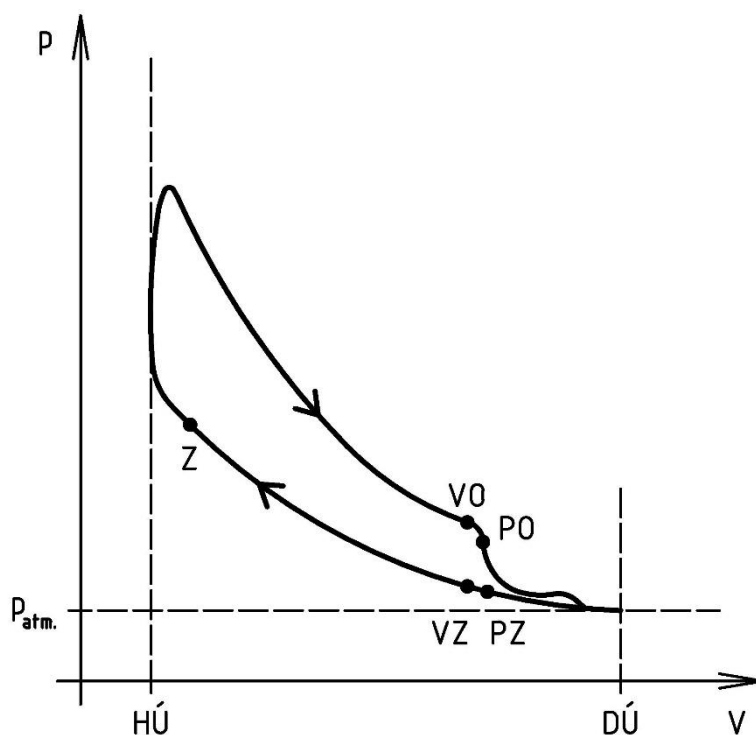
Typ	vzduchem chlazený, dvoutaktní
Vrtání	60,5 mm
Zdvih	44,5 mm
Výkon	4,5 HP \approx 3,4 kW
Pracovní otáčky	3050 \pm 100 min ⁻¹
Kompresní poměr	5,91:1
Karburátor	plovákový Walbro
Palivo	benzín s dvoutaktním olejem v poměru 32 : 1

Tab. 1

4 Dvoudobý zážehový spalovací motor

4.1 Princip práce

Spalovací motory jsou tepelné stroje, které spalováním paliva získávají tepelnou energii a využitím vhodného plynného media ji převádějí na mechanickou práci. Dvoudobý zážehový spalovací motor patří do skupiny pístových motorů s vnitřním spalováním, které produkují mechanickou práci na základě periodicky se opakujících otevřených pracovních oběhů, probíhajících ve spalovacím prostoru uzavíraném pístem motoru.



Obr. 5 Pracovní oběh dvoudobého zážehového motoru

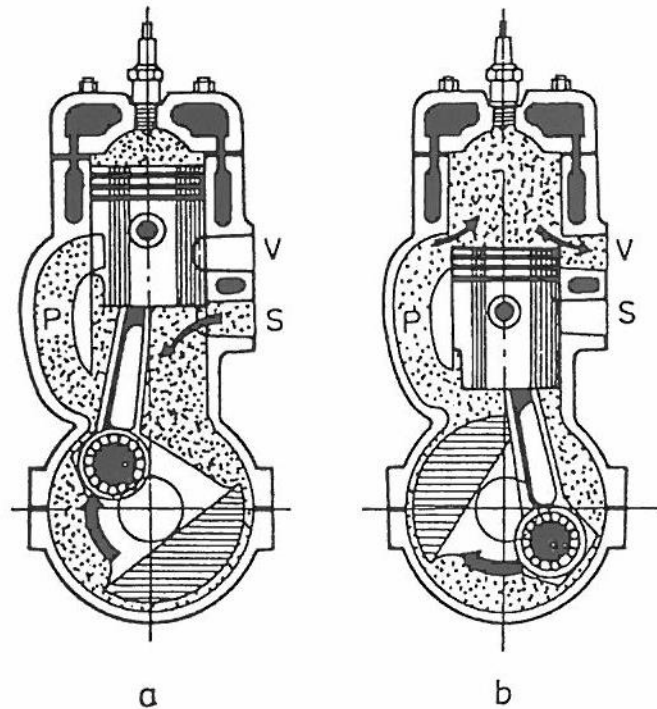
VO – výfukový kanál otevřen, VZ – výfukový kanál zavřen,

PO – přepouštěcí kanál otevřen, PZ – přepouštěcí kanál zavřen, Z – zážeh směsi

Proces přeměny energií probíhá tak, že chemická energie obsažená v palivu je spalováním transformována na energii tepelnou. Tato energie je využívána jako potenciální energie, tedy jako tlak působící na píst, a je dále transformována klikovým mechanismem na energii mechanickou. Proces přeměny energie je doprovázen tepelnými a mechanickými ztrátami. Mezi tepelné ztráty patří nedokonalý průběh chemických reakcí při spalování, jedná se většinou o oxidaci, a odvod tepla nutný pro uzavření pracovního oběhu a vznikající při chlazení motoru. Mechanické ztráty tvoří nevyužitá energie odváděná pracovní látkou a ztráty, vzniklé zejména

třením, v klikovém mechanismu při přeměně přímočarého vratného pohybu pístu na rotační pohyb klikového hřídele.

Pracovní oběh je tvořen dvěma fázemi, které proběhnou během dvou zdvihů pístu, tedy za jednu otáčku klikového hřídele. Oproti čtyřdobému motoru má tedy při stejných otáčkách dvojnásobný počet pracovních zdvihů. Běžné dvoudobé spalovací motory jsou tříkanálové. To znamená, že mají tři kanály, a to kanál sací, přepouštěcí a výfukový.



Obr. 6 Tříkanálový dvoudobý zážehový motor [8]

S – sací kanál, P – přepouštěcí kanál, V – výfukový kanál

Fáze pracovního oběhu tříkanálového dvoudobého zážehového spalovacího motoru (obr. 6):

- a) Sání a komprese – Píst se pohybuje z DÚ do HÚ. Pod pístem vzniká podtlak, který nasává sacím kanálem čerstvou směs do prostoru klikové skříně. Ve spalovacím prostoru nad pístem je stlačována směs, která byla přivedena přepouštěcím kanálem při předchozím cyklu. Přepouštěcí i výfukový kanál je uzavřen.
- b) Expanze a výfuk – Směs po zažehnutí jiskrou od svíčky expanduje. Píst se pohybuje z HÚ do DÚ. Sací kanál je uzavřen. Směs v prostoru klikové skříně proudí přepouštěcím kanálem do spalovacího prostoru nad píst a vytlačuje zplodiny hoření výfukovým kanálem. Poté se pracovní oběh dále opakuje.

4.2 Paliva pro zážehové motory

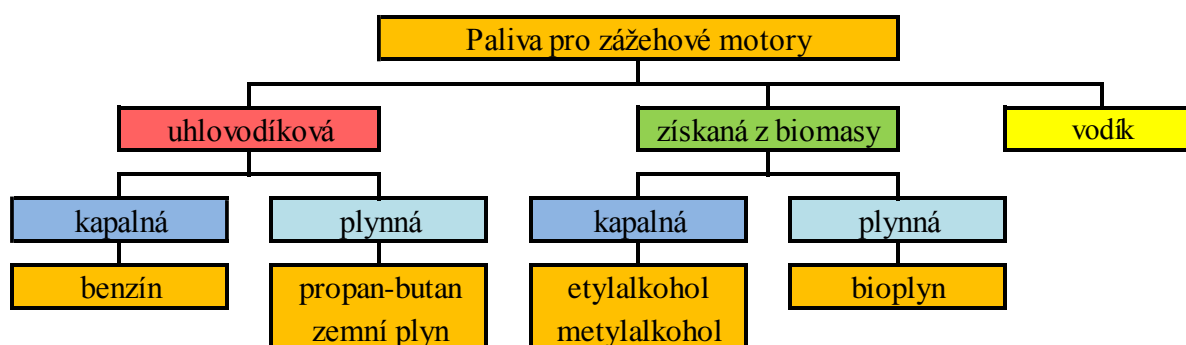
Palivo slouží pro spalovací motory jako zdroj chemické energie, která je spalováním transformována na energii tepelnou. Spalování je chemický proces oxidace probíhající prudce a za vývinu tepla, při němž složky paliva, nejčastěji uhlík a vodík, reagují s kyslíkem a přeměňují se na stabilnější sloučeniny.

Spalování je možné rozdělit na tři části. První je fyzikální a chemická příprava směsi paliva se vzduchem, kdy se zahřívají kapičky rozprášeného paliva a dále se mísí se vzduchem, až do vzniku homogenní směsi. Poté proběhne zapálení směsi jiskrou od elektrické svíčky. Poslední částí je vlastní spalování směsi, při které probíhá řetězová reakce exotermických a endotermických oxidačních reakcí.

Na palivo jsou kladeny tyto požadavky:

- 1) Vysoká výhřevnost na jednotku hmotnosti
- 2) Chemická a teplotní stálost
- 3) Co nejnižší tvorba škodlivých látek při spalování
- 4) Co nejnižší korozní účinky vůči palivové a výfukové soustavě
- 5) Co nejmenší procento nespalitelných příměsí
- 6) Nízká cena a dostupnost v dané lokalitě

Dále jsou uvedena paliva, která je možné použít pro zážehové spalovací motory.



Obr. 7 Rozdělení paliv dle zdroje, ze kterého jsou vyrobená

Rozdělení paliv dle zdroje, ze kterého jsou vyrobená (Obr. 7):

- 1) Uhlovodíková paliva - jsou získávána frakční destilací ropy nebo přímou těžbou. Principem frakční destilace je, že s rostoucí velikostí jednotlivých molekul uhlovodíků, roste i jejich bod varu. Odpařením a následnou kondenzací jsou získávány jednotlivé frakce, neboli druhy paliva, od nejlehčích až po nejtěžší.
- 2) Paliva získaná z biomasy – jsou vyráběna z rostlinných produktů nebo odpadů. Na rozdíl od uhlovodíkových paliv se jedná o obnovitelný zdroj. Při jejich spalování nedochází v atmosféře k nárůstu oxidu uhličitého, protože ho nově rostoucí rostliny znovu vstřebávají při fotosyntéze.
- 3) Vodík – je též obnovitelný zdroj. Lze ho vyrábět z fosilních paliv, biomasy nebo elektrolýzou vody. Je považován za budoucí náhradu uhlovodíkových paliv.

4.2.1 Kapalná paliva

Benzín je v současné době nejrozšířenější palivo pro dvoudobé zážehové motory. Jeho stechiometrický poměr je 14,8 : 1. Musí obsahovat frakce lehce odpařitelné, které jsou potřebné pro nastartování motoru, obzvláště za nízkých teplot, a frakce s bodem varu do 200°C. Frakce z vyšším bodem varu by se neodpařili a mohli by způsobovat smývání olejového filmu na stěně válce a ředění olejové náplně motoru, což by vedlo k rychlému opotřebením součástí motoru. Nežádoucí je obsah síry, která způsobuje korozi palivového systému a zvyšuje obsah škodlivin ve výfukových plynech a obsah pryskyřic, které způsobují zanášení a tvorbu usazenin v motoru. Důležitá je též stabilita zabezpečující ochranu proti degradaci benzínu při dlouhodobém skladování.

Antidetonační vlastnosti benzínu jsou charakterizovány oktanovým číslem a vyjadřují jeho odolnost proti detonačnímu spalování, při kterém by docházelo k samovolnému místnímu vzplanutí části směsi s následným vyvoláním rázů v pístní skupině a v klikovém mechanismu, což by vedlo k destrukci motoru. Oktanové číslo vyjadřuje procentuální podíl isooktanu (oktanové číslo 100) a n-heptanu (oktanové číslo 0) ve směsi, která má stejné antidetonační vlastnosti jako zkoumané palivo. Měření probíhá na zkušebním jednoválcovém motoru s proměnným kompresním poměrem, kdy je při postupném zvyšování kompresního poměru určen počátek detonačního hoření zkoumaného paliva a následně je vyhledána taková směs isooktanu a n-heptanu, která má stejné vlastnosti. Oktanové číslo benzínu získaného frakční destilací se pohybuje kolem hodnoty 87. Následné zvýšení je zajištěno přidáním antidetonátorů, kterými jsou u současných bezolovnatých benzinů organické sloučeniny jako například

metylterciárbutyléter (MTBE) nebo etylalkohol. Pokud má benzín oktanové číslo větší než 100, znamená to, že jeho antidetonační vlastnosti jsou lepší než u čistého isooktanu.

Jako kapalné palivo pro zážehové spalovací motory je také možné použít etylalkohol nebo metylalkohol. Stechiometrický poměr etylalkoholu je 9 : 1 a metylalkoholu 6,5 : 1. Jsou to alkoholy získávané z rostlinných odpadů nebo synteticky. Při jejich použití je nutné zvětšit dodávku paliva do motoru, z důvodu menší výhřevnosti, a je nutné provést úpravy palivového systému a motoru proti korozním vlivům. V porovnání s benzínem je však výhodou obnovitelnost jejich zdrojů, snadná odbouratelnost půdními mikroorganismy v případě kontaminace půdy, vyšší detonační odolnost a menší obsah škodlivin ve výfukových plynech.

4.2.2 Plynná paliva

Plynná paliva jsou v porovnání z kapalnými výhodnější z hlediska přípravy směsi, neboť umožňují lepší promísení a snadnější dodržení směšovacího poměru paliva a vzduchu, což vede ke snížení obsahu škodlivin ve výfukových plynech, i z hlediska antidetonačních vlastností. Nehrozí také smívání olejového filmu ze stěn válce, ředění olejové náplně a vznik karbonových usazenin ve spalovacím prostoru motoru. U tříkanálových motorů je ale jejich použití omezené, z důvodu komplikovaného řešení mazání. Nevýhodou je také nižší objemová výhřevnost, komplikované skladování, distribuce a malá energetická hustota paliva, která vyžaduje větší objem zásobníků. Proto jsou plynná paliva nejvhodnější pro pohon stabilních motorů.

Jedná se o propan-butan (LPG), zemní plyn uchovávaný v tlakových láhvích (CNG) nebo v kryogenních nádržích (LNG), bioplyn a vodík. Při použití vodíku u dvoudobých motorů je ale potřeba brát na zřetel, že nelze použít u motoru s tříkanálovým rozvodem. Už při předkompresi v klikové skříni by se vzduchem vytvořil výbušnou směs, která by mohla explodovat.

4.3 Způsoby tvoření směsi paliva se vzduchem

Pro funkci zážehového motoru je nutné vytvořit homogenní směs paliva se vzduchem, připravenou vně (směšování paliva se vzduchem probíhá mimo spalovací prostor) nebo uvnitř (směšování paliva se vzduchem probíhá ve spalovacím prostoru) motoru, a zažehovanou na konci komprese elektrickou jiskrou. Při vnějším tvoření směsi je výkon motoru regulován kvantitativně, kdy je řízeno množství nasávané směsi obvykle škrcením vzduchu nebo směsi v sání. Při vnitřním tvoření směsi je možné použít kvalitativní, kdy je řízeno pouze množství paliva ve směsi, nebo častěji kombinovanou regulaci.

Ideální poměr paliva a vzduchu nastává, když dochází k dokonalému spalování směsi, kdy se chemicky sloučí všechny uhlovodíky s kyslíkem, a produkty spalování tvoří pouze oxid uhličitý a voda. Poměr skutečného množství vzduchu ve směsi s ideálním množstvím pro dané palivo vyjadřuje součinitel přebytku vzduchu λ . Pro ideální směs je $\lambda = 1$ (stechiometrický poměr). Pokud je směs chudá (přebytek vzduchu) je $\lambda > 1$. Pokud je směs bohatá (nedostatek vzduchu) je $\lambda < 1$. U vnitřního tvoření směsi lze použít i tzv. vrstvení směsi, kdy je v oblasti svíčky bohatá směs, a tím lze zapálit i chudou směs ve zbytku spalovacího prostoru.

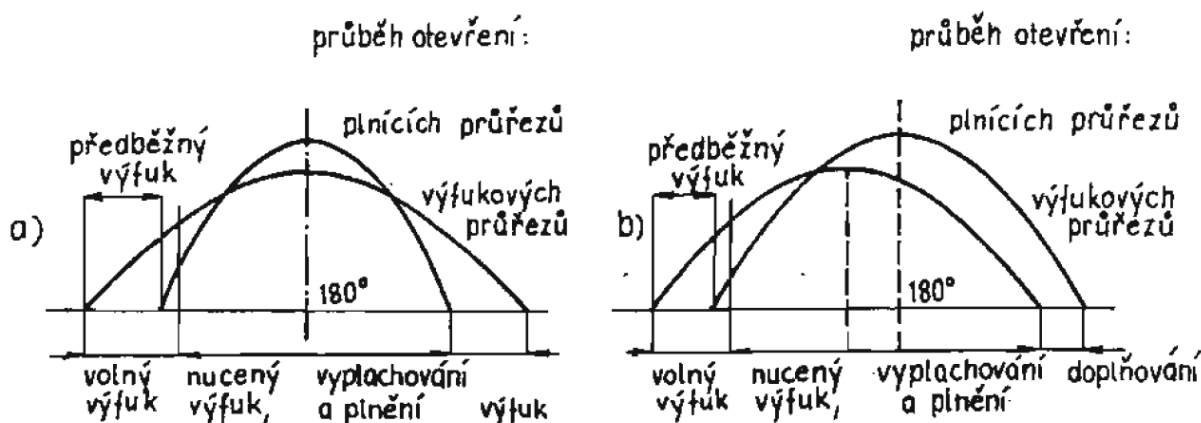
Způsoby tvoření směsi paliva se vzduchem:

- 1) Vnější tvoření směsi – v karburátoru (kapalná paliva), směšovači (plynná paliva) nebo vstřikováním do sacího potrubí
- 2) Vnitřní tvoření směsi – vstřikováním do spalovacího prostoru motoru

4.4 Rozvody dvoudobých motorů

U dvoudobých motorů existuje mnoho různých provedení konstrukce rozvodu motoru. Nejjednodušší je výše uvedené tříkanálové provedení (obr. 6), kde je rozvodovým orgánem pouze píst motoru, který při svém pohybu zakrývá a odkrývá plnicí i výfukové otvory ve stěně válce. Nevýhodou tohoto řešení je jeho symetričnost. Plnicí průřezy se zavírají dříve než výfukové, které spojují spalovací prostor s okolní atmosférou, což neumožňuje dokonalé naplnění spalovacího prostoru na plnou hodnotu plnicího tlaku.

Druhou možností je použít jako rozvodový orgán píst a ventil, popř. šoupátko v hlavě válce ovládané rozvodovým ústrojím. Tato varianta umožňuje za cenu složitějšího konstrukčního uspořádání docílit nesymetrického řešení rozvodu. Naplnění spalovacího prostoru je tedy dokonalejší a výchozí tlak v pracovním oběhu odpovídá při jmenovitém zatížení motoru plnému tlaku směsi dodávané dmychadlem.

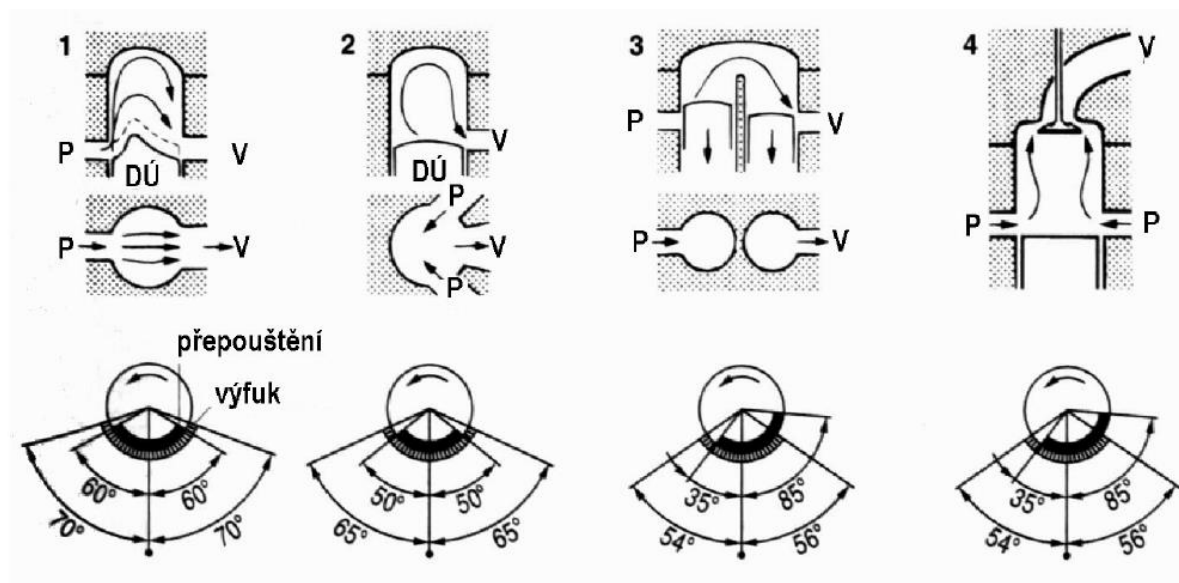


Obr. 8 Diagram symetrického (a) a nesymetrického (b) rozvodu dvoudobého motoru [6]

4.5 Vyplachování spalovacího prostoru

Vyplachováním je nazývána výměna náplně ve spalovacím prostoru motoru. Je to nejdůležitější část celého oběhu dvoudobého motoru, neboť zásadně ovlivňuje jeho výkonové a ekonomické parametry.

U dvoudobých motorů probíhá vyplachování nestacionárně s náhlými změnami rychlostí a tlaků plynů. Výpočet průtokových průřezů je tedy složitější než u čtyřdobých motorů. Při navrhování výfukových průřezů se sleduje klesání tlaku ve spalovacím prostoru po otevření výfukového kanálu, kdy z válce odchází spaliny ve fázi volného výfuku rychlostí zvuku a ve fázi nuceného výfuku jsou vytlačovány čerstvou směsí, a zjišťuje se okamžik, ve kterém je příhodné začít otevírat průřez přepouštěcího kanálu. Při předčasném otevření by mnoho čerstvé směsi uniklo výfukem, při pozdním by naopak nedošlo k dostatečné výměně náplně ve spalovacím prostoru, což by vedlo ke spalování chudé směsi.



Obr. 9 Způsoby vyplachování dvoudobého motoru [2]

Dle uspořádání průřezů pro výměnu náplně a proudu směsi ve spalovacím prostoru může vyplachování probíhat jako (obr. 9):

- 1) Příčné – proud čerstvé směsi prochází napříč spalovacím prostorem
- 2) Vratné – proud čerstvé směsi se vrací do směru výfukového kanálu
- 3) – 4) Souproudé – směr proudu spalin i čerstvé směsi je shodný

4.6 Mazání

Účelem mazání je co nejvíce snížit tření vznikající vzájemným pohybem jednotlivých částí klikového mechanismu, které způsobuje opotřebení a oteplení stykových ploch. To vede ke zvětšování odporu proti jejich pohybu, což by po určité době mohlo vést až k zadření motoru. Úkolem je tedy oddělit stykové plochy tenkou vrstvou oleje a zabezpečit kapalinné tření na místo suchého. Vrstva oleje musí být dostatečně odolná, aby při vysokých tlacích, rychlostech a teplotách panujících uvnitř motoru nebyla odtržena. Dále olej ve spolupráci s pístními kroužky plní úlohu jemného utěsnění spalovacího prostoru a také odvádí teplo vzniklé třením v ložiskách.

4.6.1 Mazání ztrátové

Při tomto způsobu mazání je olej přiváděn do klikové skříně ve formě jemných kapiček, které v důsledku víření směsi uvnitř motoru ulpívají na stykových plochách ložisek klikového hřídele, ojnice a pístního čepu a též na stěně válce pod pístem. Při přepouštění stlačené směsi do spalovacího prostoru motoru je zbytkem oleje mazána stěna válce nad pístem, čímž je mazána styková plocha s pístem a pístními kroužky. Nevyužitý olej je dále spálen spolu se směsí a odchází s výfukovými plyny.

Vytvoření kapiček oleje je možné docílit:

- 1) Smícháním oleje s palivem v nádrži motoru
- 2) Dávkovacím čerpadlem do proudu nasávané směsi paliva se vzduchem
- 3) Dávkovacím čerpadlem přímo k mazaným místům

U dvoutaktních tříkanálových motorů s předkompresí v klikové skříně je nejpoužívanějším řešením smíchání oleje s palivem už v palivové nádrži, kdy je olej rovnoměrně rozptýlen v celém objemu paliva. Mazivo s palivem je mícháno v poměru od 1 : 30 až po 1 : 100 dle konstrukce motoru. Při záběhu je maziva přidáno ještě více. Příliš bohaté mazání, to znamená nadbytek maziva, je ale nevhodné, protože dochází k usazování velkého množství nespálených zbytků ve spalovacím prostoru a výfukovém kanálu. Též je zvýšeno riziko zapékání pístních kroužků, které se projevuje snížením výkonu a zvýšením spotřeby paliva. Nadbytek oleje se také projevuje hustým bílým kouřem vycházejícím z výfuku. Základním požadavkem je, aby olej tvořil s palivem homogenní směs a aby se za čas neoddělil od paliva a neklesal na dno nádrže, protože by docházelo k nedostatečnému mazání motoru. Je tedy nutné používat pouze oleje určené pro dvoudobé motory. Největší výhodou tohoto řešení je jeho jednoduchost, kdy není zapotřebí žádného čerpadla, vysoká spolehlivost, nízká cena a

že množství oleje do klikové skříně je přiváděno v závislosti na zatížení motoru. Nevýhodou je jeho nevhodnost obzvláště při volnoběhu a nízkém zatížení, kdy je motor přemazáván.

Při mazání dávkovacím čerpadlem je olej ze samostatné nádržky přiváděn do proudu nasávané směsi paliva se vzduchem nebo přímo k mazaným místům. Množství dodávaného oleje je progresivně regulováno řídicím prvkem čerpadla, takže při volnoběhu a nízkém zatížení již nedochází k přemazání motoru. Mazací poměr je možný až 1 : 200.

4.6.2 Mazání cirkulační

U dvoudobých motorů se lze setkat i s tlakovým mazáním, kdy je olej čerpadlem dodáván ze zásobníku pod tlakem do mazaných míst, odkud se zpětným tokem vrací zpátky do zásobníku. Tento způsob je hospodárnější, neboť nedochází ke ztrátám oleje spálením z důvodu oddělení paliva a oleje. Olejová náplň musí mít dostatečnou životnost a její množství v systému musí zabezpečovat dostatečný odvod tepla z mazaných míst i při jejich dlouhodobém maximálním zatížení. Teplota oleje v zásobníku by u běžných motorů neměla překročit 120°C.

U dvoudobých tříkanálových motorů je nutné, aby byl zásobník oleje oddělen od prostoru klikové skříně, protože je použita pro předkompresi. Došlo by ke zvětšení škodlivého prostoru klikové skříně a zároveň by mohlo docházet k úniku maziva přepouštěcím kanálem do spalovacího prostoru.

4.7 Chlazení

Chlazení musí být prováděno z důvodu zajištění optimální provozní teploty jednotlivých dílů a konstrukčních skupin motoru. Je nutné odvést do okolí cca 30% tepla vzniklého při spalování. Při kompresi směsi a jejím následném zážehu vzroste teplota ve spalovacím prostoru až na 1800°C. Teplota expandujících plynů poté klesá, ale i u výfukového kanálu stále dosahuje ještě hodnoty kolem 600 až 700°C. Pokud by nebyl motor chlazen, došlo by k přehřátí, jehož důsledkem by vzrostla teplota na konci kompresního zdvihu natolik, že by to vedlo k samovznícení směsi. Docházelo by také k přílišnému zahřátí mazacího oleje, který by poté ztrácel své mazné vlastnosti. Příliš výkonné chlazení ale naopak způsobuje podchlazení motoru, které snižuje jeho výkon a pokud je tento stav dlouhodobý, tak to vede k výraznému nárůstu opotřebení pohyblivých součástí.

Požadovaná teplota je dosahována chladicím systémem, který odvádí přebytečné teplo do okolního prostředí. Odvod tepla je zajišťován přímo materiálem bloku motoru a klikové skříně

nebo nepřímo chladicí kapalinou, která předává teplo do okolí pomocí výměníku tepla. Je také možné oba způsoby zkombinovat.

4.7.1 Přímé chlazení

Jedná se o chlazení vzduchem, kdy je odvod tepla zajišťován přímým kontaktem horkých stěn motoru s okolním prostředím. Vnější povrch motoru je zvětšován chladíci žebry, jejichž tloušťka a délka je volena tak, aby proud vzduchu obtékající motor stačil na jeho dostatečné ochlazení. Výhodou tohoto řešení je vysoká spolehlivost, nižší hmotnost a rychlejší ohřev na provozní teplotu po nastartování motoru. Nevýhodou jsou ale větší zástavbové rozměry, větší množství vyzařovaného hluku a vyšší teplota součástí motoru, která vede k použití kvalitnějších a tedy i dražších materiálů.

Provedení přímého chlazení může být náporové nebo nucené. Při náporovém chlazení dochází k odvodu tepla při pohybu vozidla. Nevýhodou tedy je, že výkon chlazení klesá a roste z pojezdovou rychlostí, která při jízdě do kopce nebo z kopce neodpovídá zatížení motoru, což může způsobit jeho přehřátí nebo podchlazení. Při nuceném chlazení je proud vzduchu vytvářený ventilátorem. Chlazení už není závislé na pojezdové rychlosti, ale ventilátor spotřebuje část výkonu motoru (cca 5 až 7%).

4.7.2 Nepřímé chlazení

Chlazení je zabezpečováno chladicí kapalinou, nejčastěji směs destilované vody s přípravky proti zamrznutí při teplotách pod bodem mrazu, která cirkuluje mezi stěnou válce a pláštěm motoru. Chladicí kapalina přijme teplo a odvede ho do okolí v tepelném výměníku – chladiči. Oproti přímému chlazení je výkonnější, ale konstrukčně složitější.

Při termosifonovém (gravitačním) chlazení je oběh chladicí kapaliny samočinný. Probíhá pouze rozdílem teplot, kdy ohřátá kapalina je lehčí než studená a stoupá do horní komory chladiče, kde po ochlazení poté odchází potrubím do spodní komory a proces se dále opakuje. Pro zajištění intenzivní cirkulace je ale nutný velký rozdíl teplot, a to až 30°C, což vede ke zvětšování výšky motoru a použití velkého množství chladicí kapaliny. Proto byl nahrazen nucenou cirkulací, při které je oběh zabezpečen čerpadlem poháněným klikovým hřídelem motoru.

4.8 Výhody a nevýhody oproti čtyřdobým spalovacím motorům

Dvoudobé motory mají ve srovnání se čtyřdobými tyto výhody:

- 1) Jednoduchá konstrukce – počet vyráběných dílů je menší. Z toho vyplývá jednodušší výroba a montáž a tedy i nižší výrobní náklady.
- 2) Vyšší měrný výkon – za jednotku času proběhne dvojnásobek pracovních cyklů. Teoreticky by tedy měl být dvojnásobný, ale při vyplachování dochází k nedostatečnému naplnění spalovacího prostoru čerstvou směsí, protože její část odchází nevyužitá výfukovým kanálem a naopak část zplodin hoření zůstává ve spalovacím prostoru. Vlivem těchto ztrát je vyšší pouze o cca 10 %.
- 3) Nižší hmotnost na jednotku výkonu – důvodem je menší počet dílů.
- 4) Větší pružnost a rovnoměrnější průběh krouticího momentu – nárůst momentu při poklesu otáček je větší a maximální moment je dosažen při nižších otáčkách. Rovnoměrnější chod je způsoben dvojnásobným počtem pracovních cyklů.
- 5) Menší nároky na obsluhu a levnější opravy – není například nutné seřizovat ventily a starat se o olejový okruh. Opravy jsou levnější z důvodu nižšího počtu pohyblivých součástí.
- 6) Menší riziko vzniku poruchy při přetočení motoru – nehrozí kontakt výfukového ventilu se dnem pístu.
- 7) Snadnější spouštění za nízkých teplot – klikový hřídel a ojnice jsou uloženy ve valivých ložiskách. Chybí odpor rozvodového mechanismu.

Dvoudobé motory mají ve srovnání se čtyřdobými tyto nevýhody:

- 1) Vyšší měrná spotřeba paliva – způsobena únikem čerstvé směsi výfukovým kanálem při vyplachování spalovacího prostoru.
- 2) Vyšší spotřeba mazacího oleje – nejčastěji je použito ztrátové mazání, kdy je olej obsažen ve směsi paliva se vzduchem. Při mazání není zcela využit a odchází spolu se zplodinami hoření výfukovým kanálem.
- 3) Vyšší obsah škodlivin ve výfukových plynech – důvodem je výše uvedený způsob vyplachování a ztrátové mazání. Může docházet i k vynechání některých oběhů v důsledku nezapálení směsi.
- 4) Nepravidelný chod motoru při nízkých otáčkách – dochází k nedostatečnému vyplachu zplodin hoření ze spalovacího prostoru a následnému nezapálení naředěné směsi z důvodu její chudosti.

- 5) Zvýšené tepelné namáhání dílů motoru – způsobeno dvojnásobkem pracovních cyklů za jednotku času. Více zatížena jsou především dna pístů a zapalovací svíčky. Chlazení motoru musí být tedy výkonnější.
- 6) Větší hlučnost motoru – více hluku je vyzařováno sáním i výfukem. Důvodem je také uložení klikového hřídele ve valivých ložiskách.
- 7) Dražší výroba klikového hřídele – většinou se používá dělený klikový hřídel, který je oproti nedělenému konstrukčně i technologicky složitější. Problémem je také vyvažování u víceválcových motorů.

4.9 Současné uplatnění

Dvoudobé zážehové motory jsou v současné době rozšířené pouze v oblasti nejmenších výkonů, kde je kladen největší důraz na cenu, hmotnost a nízké nároky na obsluhu. Větší množství škodlivin ve výfukových plynech a vyšší provozní náklady spojené s větší spotřebou paliva i maziva jsou u této kategorie motorů ještě akceptovatelné.

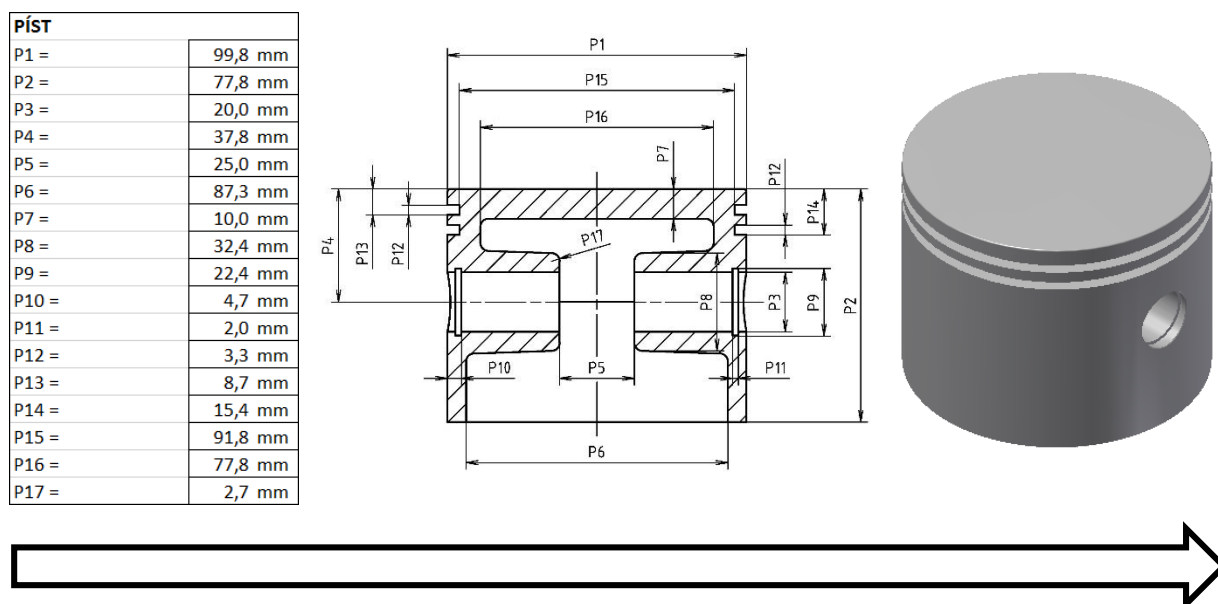
Jedná se hlavně o modelářské motory, motory malé stavební a zemědělské mechanizace a motory motocyklů nižších objemových tříd, zejména skútrů.

5 Parametrizace modelu

Parametrické modelování je vytváření modelu, jehož rozměry nejsou pevně stanovené číselnými hodnotami, ale jsou vzájemně mezi sebou propojeny pomocí vzorců nebo jsou řízeny programem typu tabulkového procesoru. Změnou velikosti jednoho rozměru modelu se tedy automaticky přepočítají i ostatní rozměry, které jsou na něm závislé, což umožňuje pružnou reakci modelu na změnu vstupní hodnoty.

Parametrický model motoru „SM_04_-LAWN_BOY_V.iam“ vytvořený v programu Autodesk Inventor 2013 je řízen souborem „SM_04_-Seznam_parametru.xlsx“ vytvořeným v programu Microsoft Office Excel 2013, kde je výpočet parametrů proveden na kartě „Výpočet parametrů motoru“. Vstupní parametry jsou dva, a to vrtání a zdvih motoru, ze kterých jsou dále vypočítány pomocí vzorců nebo vynásobením koeficientem dílčí parametry jednotlivých součástí motoru. Hodnoty koeficientů byly stanoveny odměřením z explozivních výkresů uvedených v návodu pro motor Lawn Boy série V [1]. Velikosti vrtání a zdvihu motoru je možné měnit s tou podmínkou, že se velikost zdvihu musí pohybovat v rozmezí od 75 do 100% vrtání motoru a objem motoru musí být od 400 do 600 cm³. Všechny dílčí parametry jsou

kopírovány na kartu „Parametry pro Inventor“, odkud jsou přečteny programem Autodesk Inventor a použity pro zakótování jednotlivých součástí motoru.



Obr. 10 Postup při parametrizaci modelu

6 Modelování součástí motoru

Dále popíši funkci jednotlivých součástí motoru a postup při jejich modelování. Některé součásti jsou vymodelovány zjednodušeně z důvodu snížení nároků na výpočetní výkon.

6.1 Píst

Píst zabezpečuje přenos síly od tlaků plynů na ojnici, zachycuje boční síly od klikového mechanismu, vymezuje spalovací prostor a odvádí teplo do stěn válce. U dvoudobých motorů zároveň slouží k řízení rozvodových orgánů pro výměnu náplně. Průřez pístu může být kruhový nebo mírně eliptický z důvodu nerovnoměrného ohřátí během provozu. Dno pístu je tvarované tak, aby co nejoptimálněji probíhalo vyplachování spalovacího prostoru. Dle konstrukce motorů může být rovné, vyduté nebo vypouklé. Dříve bylo u dvoutaktních motorů používáno i dno s deflektorem, ale z důvodu zvýšení hmotnosti a délky pístu se toto řešení již nepoužívá. Písty jsou vyráběny nejvíce z hliníkové slitiny s přídavkem mědi nebo křemíku, méně často pak z litiny.

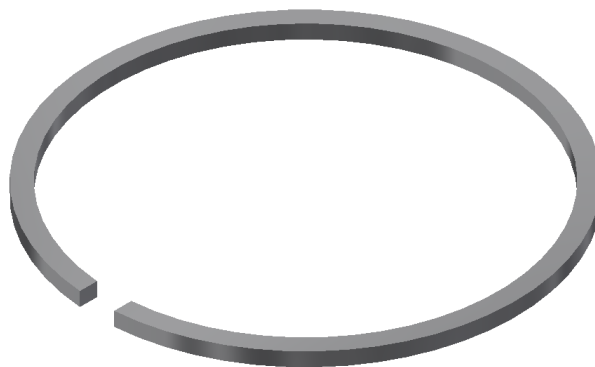
Motor Lawn-Boy V má rovné dno a je vyroben z hliníkové slitiny s přídavkem křemíku. Písty z tohoto materiálu mají menší hmotnost a tepelnou roztažnost, ale také nižší pevnost a tepelnou vodivost.



Obr. 11 Píst

6.2 Pístní kroužky

Pístní kroužky slouží k utěsnění spalovacího prostoru a k odvádění tepla z pístu do stěn válce. Nejvíce tepla je odvedeno horní kroužkem. Jsou opatřeny zámkem, který slouží k roztáhnutí kroužku při navlékání do drážky na pístu a k umožnění tepelné dilatace během provozu motoru. U dvoudobých motorů musejí být tyto zámkové zářezy, do kterých zasahují pojišťovací kolíky zabraňující pootočení v drážkách pístu. Pro zjednodušení nejsou v modelu uvažované. Pístní kroužky jsou nejčastěji vyráběny z šedé litiny, méně často pak ocelové. Pro snížení opotřebení může být těsnící plocha galvanicky tvrdochromována.



Obr. 12 Pístní kroužek

6.3 Pístní čep

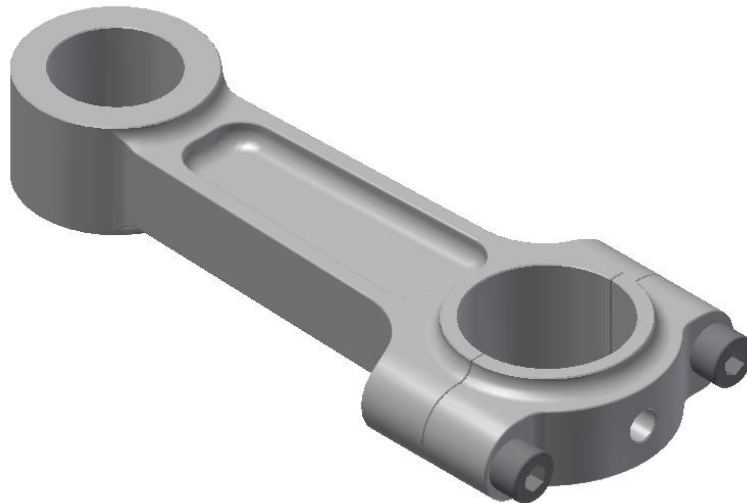
Pístní čep slouží k přenášení silových účinků mezi pístem a ojnici. Musí mít co nejnižší hmotnost, ale zároveň velkou odolnost vůči rázovému namáhání. Pokud je volně uložen v oku ojnice i nálitcích pístu, jedná se o plovoucí pístní čep. Axiální pojištění je potom zabezpečeno pomocí pojistných kroužků. U zážehových motorů lze pístní čep zatepla nalisovat do ojnicního oka. Potom se jedná se o pevný pístní čep. Toto řešení umožňuje zmenšit vnější průměr čepu, což vede ke snížení hmotnosti a též nemusí být použito axiální pojištění. Pístní čepy jsou vyráběny z cementačních ocelí nebo ocelí vhodných k nitridování.



Obr. 13 Pístní čep

6.4 Ojnice

Ojnice přenáší síly z pístu na klikový hřídel motoru. Skládá se z oka ojnice pro spojení s pístním čepem, z hlavy ojnice pro spojení s klikovým hřídelem a z dřívku spojujícího oko a hlavu ojnice. Oko ojnice je nedělené, protože se montáž s pístem zpravidla provádí provlečením pístního čepu zároveň pístem i ojnici. Hlava ojnice může být dělená s použitím neděleného klikového hřídele, kde je spojení zajištěno ojnicními šrouby či u převážné většiny dvoudobých motorů nedělená s použitím děleného klikového hřídele. Je nutné, aby oko i hlava ojnice byly dostatečně tuhé a přechody do dřívku pozvolné, ale zároveň byla ojnice co nejlehčí. Ojnice jsou nejčastěji vyráběny z konstrukčních ocelí zušlechťených na pevnost v tahu nebo z legovaných ocelí určených k cementování. U méně výkonných motorů lze použít i litou ocel nebo hliníkovou slitinu.

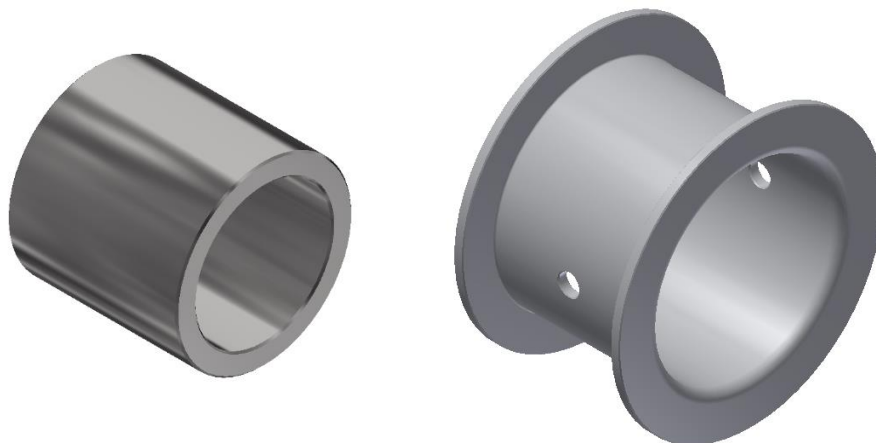


Obr. 14 Ojnice

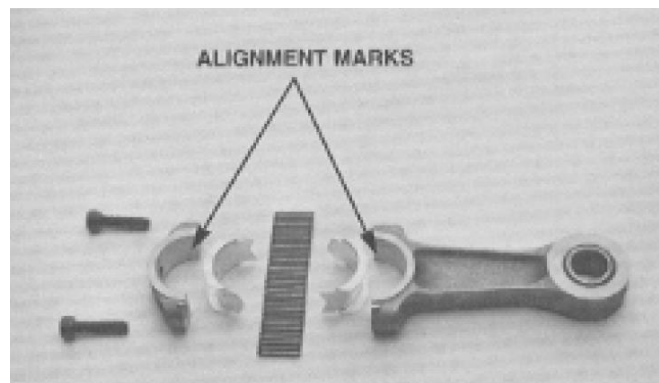
6.5 Ložiska

Ložiska umožňují přenos sil a reakcí z pohyblivých součástí na pevné nebo mezi součástmi, které se vůči sobě vzájemně rotačně nebo kývavě pohybují. U dvoudobých motorů se téměř výhradně používají valivá ložiska z důvodu použití klikové skříně jako kompresního prostoru pro stlačení nasáté směsi paliva se vzduchem. Při použití tlakového mazání kluzných ložisek by docházelo k úniku oleje přepouštěcím kanálem nad píst. Mazání valivých ložisek zabezpečuje olej obsažený ve směsi paliva se vzduchem.

U motoru Lawn-Boy V jsou použita pro uložení ojnice i klikového hřídele jehličková ložiska. Ojniční ložisko je řešeno jako dělené s atypickou jehlovou klecí. Ložiska jsou vymodelována zjednodušeně bez valivých tělísek a poloviny ojničního ložiska jako jeden kus.



Obr. 15 Ložisko pístního čepu a ojniční ložisko

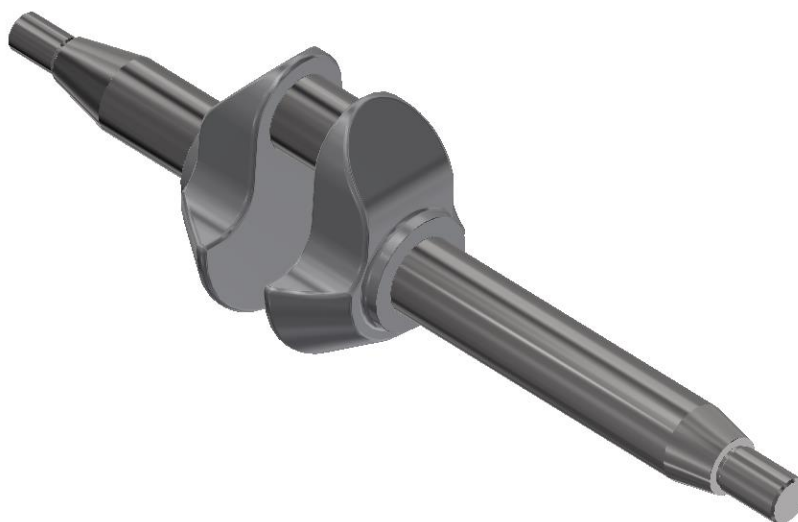


Obr. 16 Provedení ojničního ložiska u motoru Lawn-Boy V [1]

6.6 Klikový hřídel

Klikový hřídel spolu s ojnicí převádí přímočarý vratný pohyb pístu na pohyb rotační, částečně vyvažuje setrvačné síly a momenty posuvných a rotujících hmot pomocí protizávaží a může také sloužit k náhonu rozvodu, příslušenství a pomocných agregátů motoru. Konstrukce klikového hřídele musí být tuhá při namáhání na ohyb a krut, pevná při působících silových účincích, odolná proti opotřebení čepů ložisek a musí mít dlouhou životnost při cyklickém zatěžování, tedy vysokou únavovou pevnost. U dvoudobých motorů bývá u současných konstrukcí nejčastěji skládaný. Nejprve je na ojniční čep uložena ojnice s ložiskem a poté jsou nalisována ramena klikového hřídele. Pro výrobu klikového hřídele lze použít nitridační ocel, oceli konstrukční nebo slitinové, a to povrchově kalené nebo tepelně zušlechtnuté, či šedou litinu nebo ocelolitinu.

U motoru Lawn-Boy V je použit nedělený klikový hřídel. Proto musí být hlava ojnice a ojniční ložisko dělené.



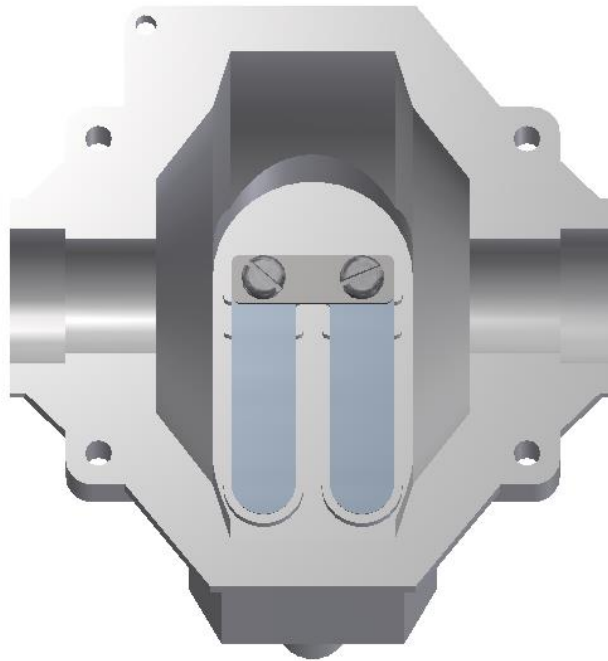
Obr. 17 Klikový hřídel

6.7 Blok motoru

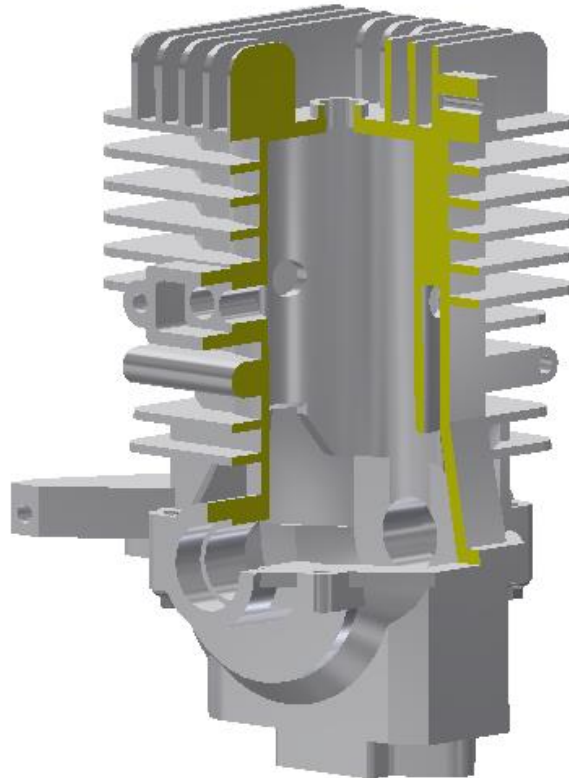
Blok motoru je základní nosná část, která slouží k uložení klikového mechanismu a zachycení vnitřních i vnějších silových účinků působící za provozu na motor. Dalšími úkoly jsou vytvoření systému vyplachování spalovacího prostoru, mazání a chlazení. Základním požadavkem na konstrukci je tuhost uložení klikového mechanismu a co možná největší utlumení vnitřního hluku a vibrací motoru.

U dvoudobých motorů se blok motoru skládá z klikové skříně a válce, jehož součástí je i kanálový rozvod, kdy píst zakrývá a odkrývá kanály ve stěně válce, čímž jsou tvořeny průtočné průřezy pro vstup čerstvé směsi do válce a odchod spalin. Toto řešení je velmi jednoduché, avšak problémem je jeho symetričnost, kterou je sice možné částečně řešit použitím přídavných zařízení, ale vzrůstá tak komplikovanost konstrukce, narůstá cena a zvyšuje se riziko poruchy.

U motoru Lawn-Boy V je sací kanál umístěn v klikové skříně. Je tvořen dvěma obdélníkovými otvory, které překrývá pružná chlopeč, a ve válci jsou 2 přepouštěcí kanály a výfukový kanál.



Obr. 18 Kliková skříň



Obr. 19 Blok motoru

6.8 Karburátor

Karburátor slouží k vytvoření směsi paliva se vzduchem v potřebném množství a v potřebném poměru dle zatížení motoru a jeho otáček. Rozptýlení paliva do vzduchu probíhá ve formě malých kapiček. Tyto kapičky se při pohybu proudu vzduchu postupně odpařují, až prakticky vytvoří homogenní směs.

U motoru Lawn-Boy V je použit jednoduchý karburátor. Palivo je z nádrže přiváděno do plovákové komory jehlovým ventilem, který je ovládán plovákem a udržuje tak konstantní hladinu paliva. Vzduch je nasáván přes filtr a vstupní škrticí klapku do směřovací komory kde v zúženém průřezu difuzéru vzniká podtlak, který nasává z rozprašovací trubice palivo. Směs paliva ze vzduchem opustí karburátor výstupní škrticí klapkou a vstoupí do klikové skříně sacím kanálem. Se vzrůstajícím množstvím vzduchu protékajícím difuzérem roste i množství nasávaného paliva z rozprašovací trubice. Z toho plyne největší nevýhoda jednoduchých karburátorů, že s nárůstem množství směsi nasávané do motoru neustále narůstá i její bohatost.

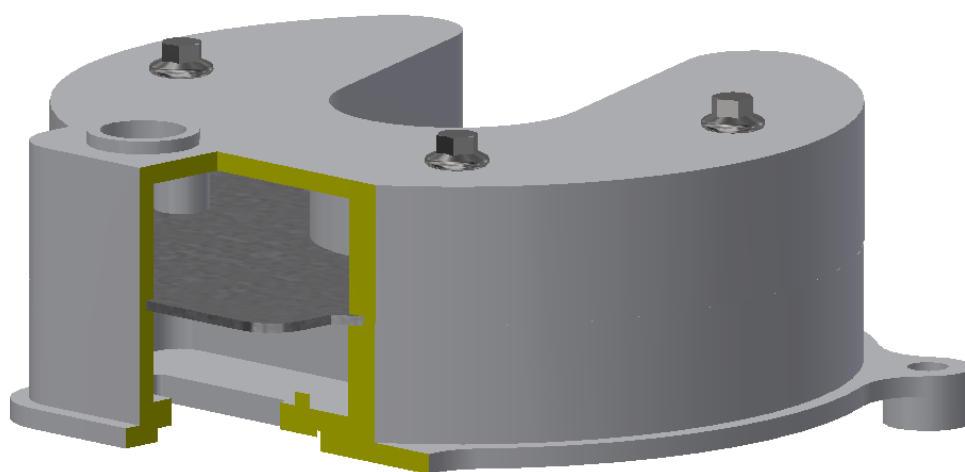


Obr. 20 Karburátor

6.9 Tlumič výfuku

Tlumič výfuku slouží ke snížení hluku vznikajícího při provozu motoru. Hluk může být tlumen ochlazováním výfukových plynů, čímž se snižuje jejich energie a tím i tlakové pulzace, pohlcením absorpčním materiálem, odrazem akustických vln či zviřením výfukových plynů v expanzních komorách tlumiče.

U motoru Lawn-Boy V je tlumič výfuku řešen jako dvoukomorový.

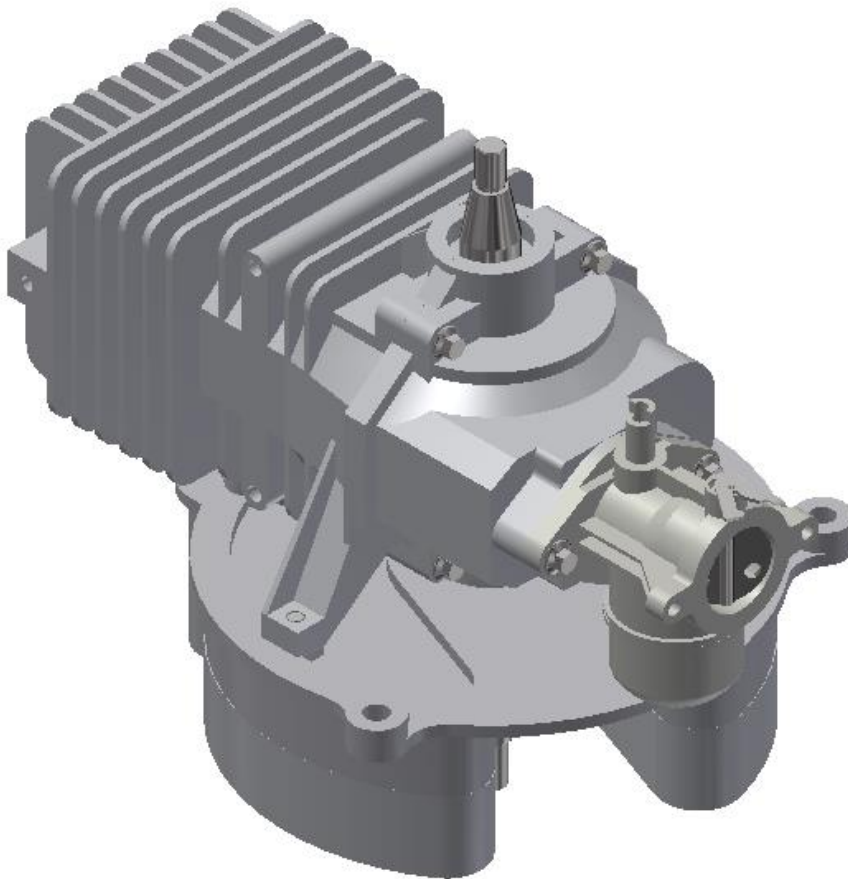


Obr. 21 Tlumič výfuku

7 Model motoru

Následným sestavením a zavazbením vymodelovaných součástí vznikl kompletní parametrický model motoru. Pokud chceme změnit vstupní hodnoty vrtání nebo zdvihu, přepíšeme je v řídicím souboru, soubor uložíme a aktualizujeme sestavu.

V modelu jsou jednotlivé součásti oproti zde uvedeným obrázkům barevně rozlišeny, z důvodu snadnější orientace. Válec motoru a ještě další součásti jsou průhledné, aby bylo možné vidět vnitřní uspořádání bez vypnutí jejich viditelnosti. V sestavě jsou také uvažovány spojovací šrouby, které jsou řízené parametry spojovaných součástí. Jejich rozměry ale nejsou odstupňované dle normalizovaných hodnot pro zjednodušení vazeb v modelu.



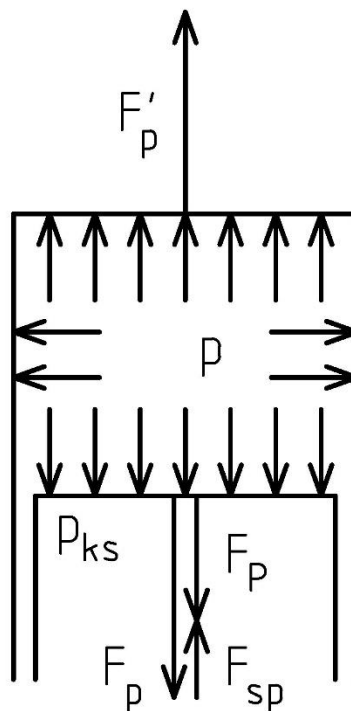
Obr. 22 Model motoru

8 Pevnostní výpočet motoru

Jako součást pro základní pevnostní analýzu jsem zvolil píst.

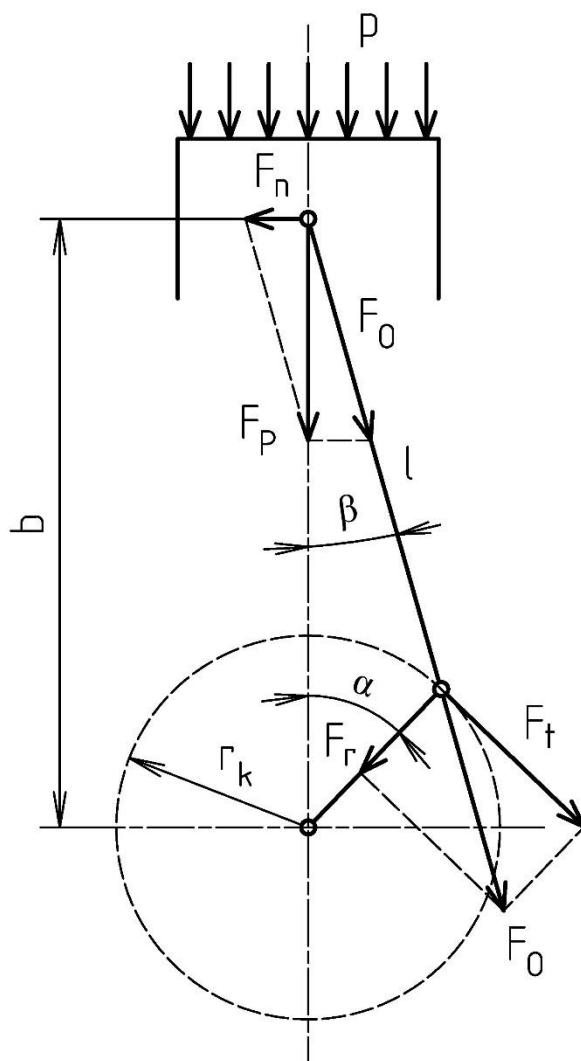
8.1 Síly působící na píst

Namáhání pístu způsobují síly od tlaku plynů, setrvačné síly, tepelné a vnitřní pnutí a další síly. Při informativním kontrolním pevnostním výpočtu nejsou všechny tyto síly uvažovány, protože by byl výpočet vzhledem ke složitému tvaru pístu a způsobu jeho namáhání příliš složitý. Zahrnuty ve výpočtu jsou pouze napětí vzniklé od tlaku plynů a od setrvačných sil, ostatní vlivy jsou souhrnně uvažovány v hodnotách dovolených napětí pro jednotlivé řezy pístu. Hodnoty dovolených napětí vycházejí z osvědčených konstrukcí. Pevnostní výpočet je tedy prováděn srovnávací metodou.



Obr. 23 Působení tlaku plynů na stěny spalovacího prostoru

Tlak plynů ve spalovacím prostoru působí na plochu pístu a vyvolává sílu F_p , která se dále přenáší přes klikový mechanismus na pevné části motoru, ale nepřenáší se na jeho uložení, neboť je vyrovnána opačně působící silou na hlavu válce F'_p . Na píst dále působí posuvná setrvačná síla F_{sp} vznikající nerovnoměrností přímočarého vratného pohybu pístu. Obě tyto síly se u dvoudobých motorů mění s periodou jedné otáčky klikového hřídele. Výsledná síla F_p je tedy součtem síly F_p od tlaku plynů a posuvné setrvačné síly F_{sp} .

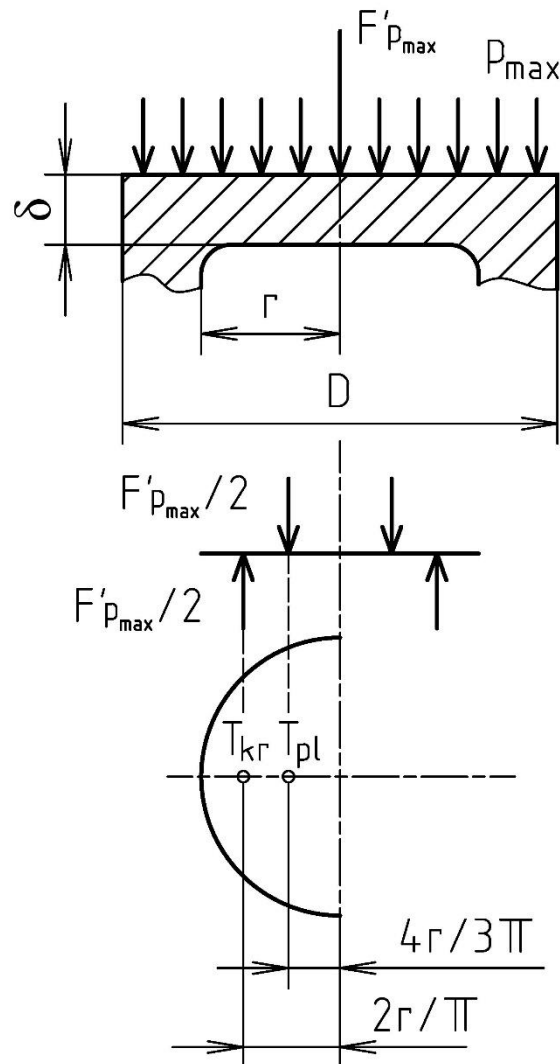


Obr. 24 Rozklad výsledné síly F_p v klikovém ústrojí

Výsledná síla se rozkládá v místě ojnicí čepu na normálovou sílu F_n působící na stěnu válce a na sílu F_o působící v ose ojnice. Síla F_o se dále rozkládá v místě ojnicího ložiska na tečnou sílu F_t a radiální sílu F_r .

8.2 Pevnostní výpočet pístu

Pevnostní výpočet dna pístu je prováděn na ohyb, kdy se dno nahradí kruhovou deskou, která je vetknutá nebo podepřená po obvodě a zatížená rovnoměrným tlakem plynů. Setrvačné síly se zanedbávají. Kruhovou desku je možné pro přibližný výpočet ohybového napětí uvažovat jako přímý nosník zatížený silou $F'_{p_{max}}/2$ působící v těžišti půlkruhové plochy, proti níž působí reakce o stejné velikosti v těžišti půlkruhového oblouku.



Obr. 25 Výpočtové schéma dna pístu

Pro výpočet volím: Velikost vrtání pístu $\text{Ø}D = 100 \text{ mm}$

Maximální tlak plynů ve válci $p_{max} = 5 \text{ MPa}$

Maximální síla tlaku plynů na kruhovou desku je:

$$F'_{p_{max}} = \pi \cdot r^2 \cdot p_{max} \quad (1)$$

$$F'_{p_{max}} = \pi \cdot 39^2 \cdot 5 = 23\,892\, N$$

r [mm] – poloměr kruhové desky

Ve výpočtu je uvažován pouze maximální tlak plynů na píst. Ve skutečnosti je maximální výsledný tlak působící na dno pístu nižší o hodnotu přetlaku v klikové skříní. U dvoudobých motorů slouží tento přetlak k nasátí čerstvé směsi do spalovacího prostoru.

Maximální ohybový moment uprostřed desky, která je nahrazena přímým nosníkem, je:

$$M_o = \frac{F'_{p_{max}} \cdot r}{\pi \cdot 3} \quad (2)$$

$$M_o = \frac{23\,892 \cdot 39}{\pi \cdot 3} = 98\,865\, N \cdot mm$$

Průřezový modul v ohybu je:

$$W_o = \frac{1}{3} \cdot r \cdot \delta^2 \quad (3)$$

$$W_o = \frac{1}{3} \cdot 39 \cdot 10^2 = 1\,300\, mm^3$$

δ [mm] – tloušťka dna pístu

Ohybové napětí je:

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \quad (4)$$

$$\sigma_o = \frac{98\,865}{1\,300} = 76\, MPa$$

Tento výraz platí pouze obecně. O velikost skutečného napětí rozhoduje, jestli je deska vetknutá či podepřená. Protože je dno pístu relativně silné, bude deska počítána jako vetknutá.

$$\sigma_{o\,skut} = 0,25 \cdot \sigma_o \quad (5)$$

$$\sigma_{o\,skut} = 0,25 \cdot 76 = 19\, MPa$$

Píst je vyroben z hliníkové slitiny. Přípustné hodnoty ohybového napětí tohoto materiálu se pro dno bez žeber pohybují v rozmezí 20 až 25 MPa [3]. Dno pístu tedy pevnostně vyhovuje.

9 Závěr

Cílem této práce bylo vytvořit parametrický 3D model jednoválcového dvoudobého zážehového motoru o obsahu od 400 do 600 cm³ s karburátorem a provést základní pevnostní analýzu zvolené součásti nebo systému motoru.

Model vytvořený v programu Autodesk Inventor splňuje dané požadavky a je k němu navíc ještě vymodelován tlumič výfuku. Je řízen dvěma parametry, a to vrtáním a zdvihem, což umožňuje experimentování s proporcemi modelu. Seznam použitých parametrů pro zakótování modelu je uveden v tabulce vytvořené v programu Microsoft Excel a jejich umístění na jednotlivých součástech je vyobrazeno na skicích vytvořených v programu Autodesk AutoCAD. Při změně vstupních parametrů je nutné se řídit uvedenými podmínkami, jinak dojde k porušení vazeb v modelu.

Pro základní pevnostní výpočet pístu jsem zvolil materiál stejný jako u vzorového motoru Lawn-Boy V a vnitřní rozměry jsem volil tak, aby píst vyhověl pevnostní analýze, ale zároveň nebyl zbytečně předimenzovaný.

Dále práce obsahuje princip funkce a charakteristiky dvoudobého zážehového motoru a popis jeho jednotlivých součástí.

Doufám, že tato práce splnila plný rozsah zadání a přinese čtenáři základní znalosti o těchto v současné době méně rozšířených spalovacích motorech.

Seznam použitých symbolů a zkratek

b	[mm]	osová vzdálenost mezi pístem a klikovým hřídelem
D	[mm]	průměr pístu
F_n	[N]	normálová síla
F_O	[N]	síla působící v ose ojnice
F_p	[N]	síla od tlaku plynů působící na píst
F'_p	[N]	síla od tlaku plynů působící na hlavu válce
F'_{pmax}	[N]	maximální síla tlaku plynů na kruhovou desku
F_P	[N]	výsledná síla působící na píst
F_r	[N]	radiální síla
F_{sp}	[N]	posuvná setrvačná síla
F_t	[N]	tečná síla
l	[mm]	délka ojnice
M_o	[N.mm]	maximální ohybový moment uprostřed desky
p	[MPa]	tlak plynů ve spalovacím prostoru
$p_{atm.}$	[MPa]	atmosférický tlak
p_{ks}	[MPa]	tlak v klikové skříni
p_{max}	[MPa]	maximální tlak plynů ve válci
r	[mm]	poloměr kruhové desky
r_k	[mm]	poloměr kliky
W_o	[mm ³]	průřezový modul v ohybu
α	[°]	úhel natočení klikového hřídele
β	[°]	úhel natočení ojnice
δ	[mm]	tloušťka dna pístu
σ_o	[MPa]	ohybové napětí
$\sigma_o \text{ skut}$	[MPa]	skutečné ohybové napětí pro vetknutou desku

DÚ	dolní úvrat'
HÚ	horní úvrat'
P	přepouštěcí kanál
PO	přepouštěcí kanál otevřen
PZ	přepouštěcí kanál zavřen
S	sací kanál
V	výfukový kanál
VO	výfukový kanál otevřen
VZ	výfukový kanál zavřen
Z	zážeh směsi

Seznam použité literatury

- [1] *LAWN-BOY V-ENGINE SERVICE MANUAL*, Lawn-Boy
- [2] RAUSCHER, Jaroslav. *Spalovací motory*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2005.
- [3] KOVAŘÍK, Ladislav, Viktor FERENCEY, Radomír SKALSKÝ a Ladislav ČÁSTEK. *Konstrukce vozidlových spalovacích motorů*. Praha: Naše vojsko, 1992.
- [4] VYKOUKAL, Rudolf. *Dvoudobé motory vozidlové*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1957.
- [5] KOUBEK, Jaroslav. *Dvoutaktní motory*. Praha: Josef Hokr, 1946.
- [6] MACEK, Jan. *Spalovací motory I*. Praha: Skripta ČVUT, 2007.
- [7] KRÁL, Jiří. *Píst dvoudobého motocyklového spalovacího motoru*. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [8] *Technika motoru: Díl 2. – Rozvody spalovacích motorů* [cit. 2015-12-4]. Dostupné z: <http://silnicnimotorky.cz/motorky/technika/technika-motoru-dil-2-rozvody-spalovacich-motoru/>

Seznam příloh

Příloha 1: 3D model motoru (3x)

Příloha 2: Seznam parametrů

Příloha 3: Parametry pístní skupiny

Příloha 4: Parametry ojnice a víka ojnice

Příloha 5: Parametry ložisek

Příloha 6: Parametry klikového hřídele

Příloha 7: Parametry klikové skříně

Příloha 8: Parametry válce motoru

Příloha 9: Parametry tlumiče výfuku

Příloha 10: Parametry karburátoru