

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

SPALOVACÍ MOTORY PRO POHON UAV

COMBUSTION ENGINES FOR UAV

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Lečbých

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Radim Dundálek, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	Michal Lečbych
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Radim Dundálek, Ph.D.
Akademický rok:	2019/20

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

Spalovací motory pro pohon UAV

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Shromáždění informací a osvojení základních pojmů zadané problematiky. Zamyšlení nad perspektivou budoucího vývoje benzínových motorů pro bezpilotní létající prostředky zejména s ohledem na zvýšení výkonu a životnosti.

Cíle bakalářské práce:

Uvedení přehledu spalovacích motorů pro pohon bezpilotních létajících prostředků, popis jejich specifických vlastností. Výhody a nevýhody s ohledem na provozně ekonomické parametry – výkon, spotřeba paliva, životnost. Specifické součásti palivového systému. Příklady konkrétních pohonných jednotek a přehled jednotlivých výrobců.

Seznam doporučené literatury:

STONE, Richard. Introduction to Internal Combustion Engines. 3rd edition. Hampshire: Palgrave, 1999. ISBN 0-333-74013-01999.

HEISLER, Heinz. Advanced Engine Technology. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. ISBN 1-56091-734-2.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

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

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Hlavním cílem bakalářské práce je uvést přehled spalovacích motorů pro pohon bezpilotních letounů. Je zde uveden popis pohonných jednotek a jejich specifických vlastností. Nachází se zde také seznam nejpodstatnějších výrobců jednotlivých motorů. Konec práce se věnuje porovnání jednotlivých pohonných jednotek, které zde byly popsány.

KLÍČOVÁ SLOVA

UAV, bezpilotní letoun, letecký motor, srovnání

ABSTRACT

The main purpose of the bachelor thesis is to summarize main combustion engines for unmanned vehicles. There's a description of each power unit and their specific characteristics in this thesis. It also contains a list of main producers of each engines. At the very end of the thesis, there's a comparison of each power unit described in this work.

KEYWORDS

UAV, unmanned vehicle, aircraft engine, comparison

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

LEČBYCH, Michal. *Spalovací motory pro pohon UAV*. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124180>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí práce Radim Dundálek.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 19. června 2020

.....

Jméno a přímení

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu práce Ing. Radimu Dundálkovi, Ph.D. za cenné rady k bakalářské práci. Také chci poděkovat své rodině za podporu a trpělivost při vypracovávání následujícího textu.

OBSAH

Úvod.....	9
1 Popis UAV.....	10
1.1 Základní klasifikace	10
1.2 Popis konstrukce.....	11
1.3 Možnosti řízení.....	11
1.4 Praktické využití.....	12
2 Motory pro bezpilotní letouny	14
2.1 Pístový motor	14
2.2 Proudový motor.....	14
2.3 Turbovrtulový motor	15
2.4 Raketový motor	16
3 Spalovací motory pro pohon UAV vyráběné v ČR.....	17
3.1 První brněnská strojírna.....	17
3.2 Primoco	18
3.3 MVVS	19
3.4 Fiala prop.....	21
4 Spalovací motory pro pohon UAV vyráběné v zahraničí.....	22
4.1 Rotax	22
4.2 UAV engines ltd.....	23
4.3 Power4flight	24
4.4 Northwest UAV.....	25
4.5 Sky Power.....	25
4.6 UAVOS	27
4.7 UAV Factory	27
4.8 Great Power Engine.....	28
5 Shrnutí parametrů výše uvedených motorů.....	29
6 Porovnání.....	30
6.1 Porovnání poměru výkon / hmotnost	30
6.2 Cena.....	32
6.3 Měrná spotřeba	32
6.4 Hmotnost	33
7 Budoucnost benzínových motorů pro UAV.....	34
Závěr	36
Seznam použitých zkratk a symbolů	Error! Bookmark not defined.
Seznam příloh.....	Error! Bookmark not defined.

ÚVOD

UAV má za sebou dlouhou historii vývoje. Jedná se o specifické téma a znalosti týkající se tohoto typu létajících prostředků jsou pro běžnou populaci značně omezené. V úvodních kapitolách bakalářské práce popisují stručný úvod do problematiky UAV a leteckých spalovacích motorů. Dále jsou popsány způsoby využití, stručně charakterizovány výhody a nevýhody jednotlivých motorů. Hlavní část bakalářské práce byla věnována rešerši používaných spalovacích (převážně pístových) motorů pro UAV a přehledu největších výrobců této oblasti.

Jde o velmi lukrativní oblast inženýrství, konkurence v této oblasti je vysoká. Proto jsou neustále používány nejnovější technologie a dochází k vývoji nových pohonných jednotek každým rokem. Bakalářská práce se soustředí jak na tuzemské výrobce, tak i ty zahraniční. Osobní snahou bylo zahrnout co největší škálu motorů, jsou zde uvedeny pohonné jednotky používající se na pohon letounů vážících pár kilogramů, až po motor pohánějící bezpilotní letoun vážící několik tun. Jsou zde uvedeny základní specifikace pohonných jednotek použitých pro bezpilotní letouny a pomocí shromážděných dat byly mezi sebou motory jednotlivých výrobců srovnány dle charakteristik, které by mohly hrát důležitou roli při výběru/koupi nového motoru.

V poslední části jsem se pokusil vyjádřit můj názor na budoucí vývoj benzínových motorů pro bezpilotní létající prostředky, na základě informací zjištěných při vypracování bakalářské práce.

1 POPIS UAV

UAV (Unmanned aerial Vehicle) neboli bezpilotní letoun je typ letounu, který se začal vyvíjet po první světové válce. Z názvu vychází, že se jedná o stroje bez posádky, což s sebou nese řadu výhod, ale také jisté konstrukční složitosti. Pojem UAV pochází z vojenského průmyslu. Z počátku byly používány hlavně armádou, a to na situace, velmi nebezpečné pro lidskou posádku letounu. Zahrnovalo to jakékoliv útočné akce, sledování hranic a mapování cizích objektů. Avšak pokrok v technologii umožnil zlevnění vývoje a zjednodušení jejich výroby, proto dnes můžeme nalézt aplikace UAV i pro širší veřejnost (zemědělství, archeologie, videoprodukce, reportáže atd.). [1, 2]

UAV nemohou být funkční samy o sobě, je to jen jedna z několika komponent celkového systému, který nazýváme UAS (unmanned aircraft system). Tento systém většinou dále obsahuje řídicí stanici, typ datového spoje pro řízení a kontrolu, software pro ovládání a další prvky nutné k umožnění letu.



Obr. 1: Příklad UAS kompletu [3]

1.1 ZÁKLADNÍ KLASIFIKACE

Podle účelu použití

- Cíle a návnady - poskytují pozemní a vzdušné cíle simulující nepřátelské letadla
- Průzkumné - poskytující informace o bojišti
- Bojové - schopné útoku ve velmi rizikových misích
- Logistické - UAV speciálně navržené pro logistické účely
- Výzkumné a vývojové - používané k dalšímu vývoji UAV technologií
- Civilní a komerční - UAV speciálně navržené pro civilní nebo komerční aplikace

Zdroj [4]

Podle velikosti a hmotnosti

Typ	Maximální hmotnost	Maximální dolet
Nano	200 g	5 Km
Micro	2 Kg	25 Km
Mini	20 Kg	40 Km
Light	50 Kg	70 Km
Small	150 Kg	150 Km
Tactical	600 Kg	150 Km
MALE	1000 Kg	200 Km
HALE	1000 Kg	250 Km
Heavy	2000 Kg	1000 Km
Super Heavy	2500 Kg	1500 Km

Tab. 1 Rozdělení UAV [5]

1.2 POPIS KONSTRUKCE

Bezpilotní letouny se v mnohém neliší od letounů s posádkou. Charakteristickými odlišnostmi jsou: absence kokpitu, systému kontroly životního prostředí a systému podpory života. Výsledkem je možnost dosažení mnohem menších rozměrů, většího prostoru pro užitečnou zátěž, nebo menší hmotnosti. [1] Konstrukce případného bezpilotního letounu je hlavně ovlivněna tím, na co daný stroj potřebujeme. Na výsledek budou mít vliv parametry jako životnost stroje, jeho maximální dosažená letová výška a rychlost, nebo zda jej chceme použít pro armádní, či civilní účely. Nejběžnějšími materiály na výrobu jsou hliník, titan nebo různé plasty.[5]

Protože zde není třeba investice do pilota, jeho výcviku a jiných prostředků pro ochranu posádky, náklady na tyto letouny jsou mnohem nižší. Kontrolní systémy letadel pilotované člověkem zamezují pilotovi přesáhnout zatížení 9 G. Více může být životně nebezpečné, avšak tato podmínka nemusí být splněna u bezpilotních letounů. Proto jsme schopni dosáhnout větších rychlostí a lepší manévrovatelnosti. [6]

1.3 MOŽNOSTI ŘÍZENÍ

Máme více typů autonomie, podle které můžeme rozlišovat tyto letouny. To může být lidmi kontrolované řízení na dálku ze země. Letouny řízené pomocí určitých letových plánů - tento typ kontroly není obvyklý, protože neumožňuje reakci na nečekanou změnu v daném prostředí, proto bývá často doplněn dalším způsobem kontroly. Pro přenos dat je nejčastější způsob pomocí rádia. V současnosti je velmi často požadován i přenos videa. Tento přenos umožňuje širokopásmové rádiové připojení. [1, 5]

Samostatná digitální řídicí jednotka (FADEC) - jde o systém plně elektronického řízení chodu motoru. Skládá se z řídicí jednotky motoru (ECU) a nutného rozhraní na ovládací prvky. FADEC má za úkol optimálním způsobem řídit motor (přísun paliva, nastavení statorových listů, odvodu vzduchu z kompresoru, spouštěcí a zastavovací sekvence, chlazení, monitorování vibrací, stavu motoru, přítomnost nečistot).

Výhody jsou: nižší spotřeba, poloautomatické startování motoru, může poskytnout diagnostiku, šetří hmotnost.

Nevýhody: při selhání piloti nemají možnost manuálního ovládání, horší instalace a údržba motoru. [7]

1.4 PRAKTICKÉ VYUŽITÍ

Zemědělství - zvyšuje se poptávka po produkci potravin. Tuto poptávku na trhu by mohl částečně vyplnit budoucí rozvoj UAV. Využity mohou být na monitorování plodin, jejich postřik, mapování kvality půdy. [8]



Obr. 2: Zavlažování dronem [9]

Správa pozemků - tvorba leteckých map pro přesnější vymezení a rozdělení pozemků. Napomáhají ke zjištění nezákonných budov, přístaveb. [10]

Údržba letadel - drony pro dálkové inteligentní průzkumy byly použity na detekci vad a poškození letadel po jejich letu (použito u letadla A320). Elektrooptické senzory detekují poškození způsobené bleskem, zároveň dron obsahuje senzory, které udržují bezpečnou vzdálenost od letadla. Tento koncept urychluje přípravu letadel k dalšímu letu. [11]

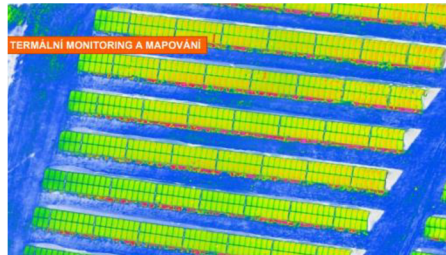


Obr. 3: Inspekce letounu dronem [11]

Armáda - jsou hojně používány průzkumné a sledovací drony v nebezpečných zónách, kde by mohlo dojít k ohrožení pilota. Mezi nejpopulárnější patří Global Hawk a Predator. Tyto stroje jsou hlavně používány ke sledování pobřežních částí proti pirátům a nelegálním přistěhovalcům, při pátracích akcích a jako zdroje cenných informací v nepřátelských oblastech. Později došlo k přestavbě letounu Predator, aby byl připraven i na bojové akce. Zde prokázal svou schopnost zvláště v boji proti terorismu. [12]

Potrubní monitorování - podzemní potrubní komplexy mohou být sledovány a kontrolována jejich bezpečnost za pomoci infračervených kamer, multispektrálních a hyperspektrálních senzorů. [13]

Stavební inženýrství – za pomoci 3D laserového skeneru UAV jsou často používány na sběr topografických dat, které jsou poté využity k plánování budoucích silničních a železničních tras. [13]



Obr. 4: Monitorování teplot [14]

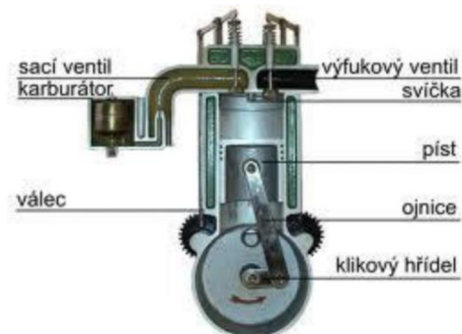
2 MOTORY PRO BEZPILOTNÍ LETOUNY

Výčet nejdůležitějších požadavků kladených na konstrukci motorů pro UAV :

- Výkon
- Výškovost dle účelu letounu
- Nízká hmotnost
- Hospodárnost
- Rozměry
- Spolehlivost při dostatečně dlouhé životnosti
- Vyváženost
- Snadný provoz a obsluha
- Jednoduchost výroby [15]

2.1 PÍSTOVÝ MOTOR

Tento typ motorů funguje převážně na principu Ottova cyklu. Energie z paliva je převáděna na mechanickou energii. Nejdříve dochází k sání směsi paliva a vzduchu, poté ke kompresi, zapálení a expanzi, nakonec k výfuku spalin. Pohyb pístu je převeden na pohyb rotační. Otáčky tohoto typu motoru se nejčastěji pohybují v rozmezí 6000 - 40 000 za minutu, je zde většinou potřeba použít reduktor ke snížení otáček. Nejvhodnější otáčky pro práci vrtule se pohybují mezi 1000 až 2000 za minutu (nebo $600 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), poté začíná klesat účinnost motoru v důsledku špatného obtékání vzduchu vrtule. Podle postavení pístu vůči motoru rozlišujeme motory například na: řadové, vidlicové a hvězdicové. Rostoucí nárok na výkon motorů a s tím i související růst hmotnosti motoru zapříčinil úpadek při používání těchto motorů. Dnes se používají převážně u malých sportovních a dopravních letadel. Vyznačují se svou jednoduchostí, spolehlivostí a převážně nízkou spotřebou. [7, 16]



Obr. 5: Schéma pístového motoru [17]

2.2 PROUDOVÝ MOTOR

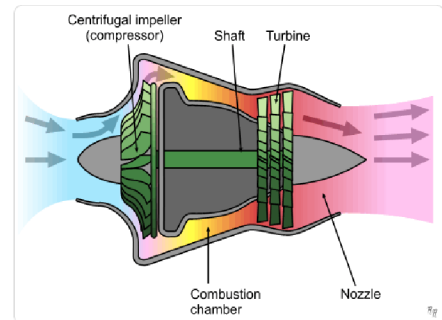
Narozdí od pístového motoru, kde je palivo spalováno ve stlačeném prostoru v přesně danou chvíli, jednoproudový motor funguje na principu Newtonova zákona, kde dochází k neustálému spalování paliva. Velký objem vzduchu je nejprve nasán, kde jej rotující kompresor stlačí. Dochází až ke kompresi 40:1. Ve spalovací komoře je vstříknutím a zapálením paliva dodána tepelná energie. Plyn se poté žene vysokou rychlostí k turbíně, kterou roztáčí. Turbína je využita k neustálému roztáčení kompresoru, zbytek plynu pokračuje za turbínu. Poslední část motoru tvoří tryska, jejíž úkolem je převést energii plynu na rychlost, což bude tvořit výsledný pohon.

Jednoprúdové motory mají obecně mnohem lepší poměr výkon-hmotnost než pístové motory. Jsou schopny operovat při vyšších teplotách a vyprudkovat mnohem větší tah než vrtulové motory. Bohužel jejich účinnost velmi rychle klesá při nižších rychlostech ($M < 2$).

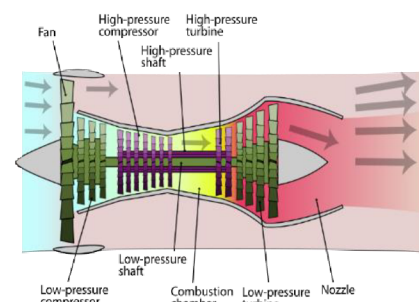
Tento problém byl vyřešen dvouproudovým neboli turbodmychadlovým motorem, což je upravenou verzí jednoprúdového. Obsahuje navíc dmychadlo a nízkotlaký kompresor, poháněné další turbínou. Vzduch zde proudí sice menší rychlostí, ale ve větším objemu. Výsledkem je menší spotřeba paliva ale mnohem vyšší účinnost při rychlostech $M=0,7-2$. Zpravidla jsou dvouproudové motory využívány u velkých civilních letadel, zatímco jednoprúdové motory jsou užívány většinou pro bojové letadla. [6, 20]

Obtokový poměr:

- Malý – poměr $<0,6$
- Střední – poměr $0,6-1,5$
- Velký – poměr $1,5-8$
- Velmi velký – poměr >8



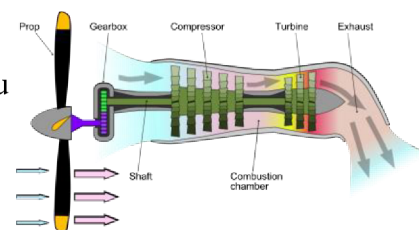
Obr. 6: Schéma jednoprúdového motoru [18]



Obr. 7: Schéma dvouproudového motoru [19]

2.3 TURBOVRTULOVÝ MOTOR

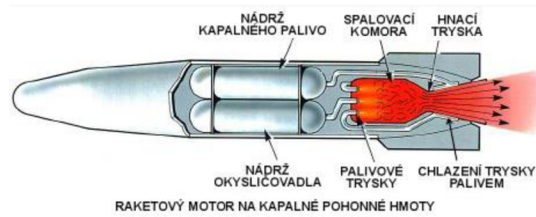
Je to kombinace proudového a pístového motoru. Funguje na stejném principu jako jednoprúdový motor, ale obsahuje dvě turbíny. Jedna turbína je použita na roztáčení kompresoru motoru, druhá je použita na rotaci vrtule připojené přes reduktor. Zhruba 90% tahu tvoří vrtule, zbytek tvoří unikající plyny. Motor má velmi dobrou účinnost, pokud není překročena vysoká rychlost, kdy by začalo docházet ke špatnému obtékání vzduchu kolem listu vrtule. Turbovrtulové motory dosahují lepšího výkonu v podzvukových rychlostech než pístové, ale nepřekonávají proudové motory, co se týče letů na dlouhé vzdálenosti. Turbohřídelový motor je upravenou verzí turbovrtulového motoru, je používán převážně u vrtulníků. [6, 20]



Obr. 8: Schéma turbovrtulového motoru [21]

2.4 RAKETOVÝ MOTOR

Dochází zde ke spalování směsi paliva dvou palivových nádrží, které tvoří výsledný pohon. Největší výhodou raketových motorů je, že zde není třeba atmosferický kyslík k jeho funkčnosti. To znamená, že může být použit v extrémních výškách. Vzhledem ale k velké spotřebě paliva a vysoké hmotnosti (protože musí mít neustále u sebe nádrž okysličovadla a paliva) nebylo u něj nalezeno reálné použití pro civilní letectví. Jeho konstrukce také neumožňuje regulaci, nebo zastavení výkonu motoru. Největší využití má u raket, řízených a neřízených střel, kde je zapotřebí vysokého výkonu. [6]



Obr. 9: Schéma raketového motoru [6]

3 SPALOVACÍ MOTORY PRO POHON UAV VYRÁBĚNÉ V ČR

3.1 PRVNÍ BRNĚNSKÁ STROJÍRNA

PBS Velká Bíteš, a.s. je strojírenská společnost založená roku 1950. Zajišťuje si samostatně vývoj, testování a výrobu letecké techniky. Vyrábí převážně proudové pohonné jednotky používající letecká paliva Jet A, A1, B, TS-1). [22]

Motor PBS TP100

TP100 je jediným turbovrtulovým motorem vyráběným v PBS. Kvůli své menší hmotnosti a menším zástavbovým rozměrům je využíván zejména u bezpilotních prostředků a malých letadel. Je zde velký prostor k jeho využití, protože systém je navržen tak, aby motor mohl být umístěn v letadle buď v tlačné nebo tažné verzi. TP100 jsme schopni ovládat jak analogově tak digitálně (protokol CAN Aeospace v1.7).

Možnost maximálního výkonu při vzletu je 180 kW po dobu 5 minut, poté výkon klesne na 160 kW. Design převodovky umožňuje možnost instalace alternátoru s výstupem 1,6 kW. Výstupní otáčky hřídele jsou 2158 RPM.



Obr. 10: TP100 [22]

Základní technické parametry	TP100
Maximální výkon	180 kW
Elektrický výkon	720 W
Hmotnost	61,6 kg
Rozměry	398 x 330x891 mm
Měrná spotřeba	0,548 kg/kW/h

Tab. 2 Parametry motoru TP100 [22]

Možnost použití za teplot dosahujících $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ bez předehřívání a také nabízí maximální dosažení výšky 9000 m. Jednou z neobvyklých aplikací je možnost vertikálního startu a přistání (VTOL). TP100 obsahuje autonomní olejový a palivový systém, elektrický startér-generátor a digitální řídicí jednotku motoru (ECU) pro zajištění řízení akcelerace a decelerace generátoru plynů, kvůli udržení konstantních otáček na hřídeli. [22, 23]

Motor PBS TJ100

Jedná se o jednohřídelový proudový motor s tahem do 1250 N. Skládá se z radiálního kompresoru, radiálního a axiálního difuzoru, prstencové spalovací komory, axiální turbíny a pevné výstupní trysky. Výkon generátoru je 750 W a obsahuje i řídicí systém FADEC. Operační výška 10 000 m s maximální rychlostí do 0.8 M. Dosahuje 60 000 RPM při teplotě výfukových plynů $820\text{ }^{\circ}\text{C}$. Spolehlivost prokázána ve více než 800 aplikacích a 40 variantách, kde jednou z nich je například přistání na vodě. Jeho použití je zejména v cvičných tercích pro pozemní

jednotky v Evropě a Asii. Motor při použití nevyžaduje schválení leteckými úřady pro civilní dopravu. Nevýhodou je velmi krátká životnost. Zdroj [24, 25]



Obr. 11: TJ100 [24]

Základní technické parametry	TJ100
Max. tah	1250 N
Elektrický výkon	750 W
Hmotnost	19,5 kg
Vnější průměr	272 mm
Délka	625 mm

Tab. 3 Parametry motoru TJ100 [25]

Motor PBS TS100

TS100 je turbohřídelový motor využíván hlavně pro UAV a lehké vrtulníky do 1 tuny. Jeho předlohou při vývoji byl motor TJ100. Nabízí maximální trvalý režim o výkonu až 160 kW do výšky 2000 metrů a to i při vysokých teplotách. Také je možné jej používat v chladných podmínkách až do -30 °C. Řídicí jednotka (ECU) kromě kontroly konstantních otáček na hřídeli zajišťuje automatické chlazení horkých součástí po zastavení motoru. Možnost letu do výšky 9000 m. Je nabízen ve dvou verzích: 2158 RPM a 5978 RPM. [25, 26]



Obr. 12: TS100 [26]

Základní technické parametry	TS100
Maximální výkon	180 kW
Elektrický výkon	720 W
Hmotnost	56,7 kg / 61,3 kg
Výška x šířka	398 x 330 mm
Délka	829 mm / 881 mm
Měrná spotřeba	0,548 kg/kW/h

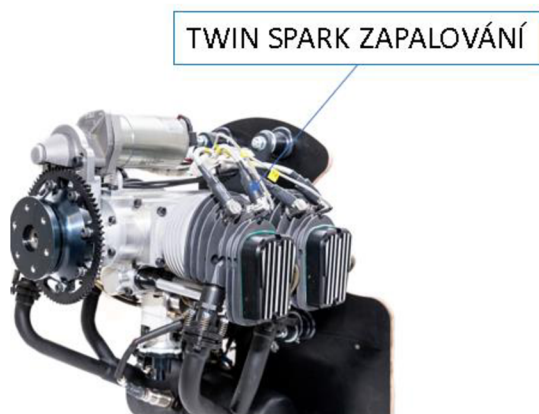
Tab. 4 Parametry motoru TS100 [25]

3.2 PRIMOCO

Benzínové motory Primoco 250/ 340 byly v ČR vytvořeny od návrhu až po jeho vlastní výrobu a dnes jsou prodávány úspěšně do celého světa. Tyto motory nabízí nejnovější konstrukci vytvořenou speciálně pro UAV. Při výrobě byl kladen důraz na hospodárnost, nízkou hlučnost a vysokou životnost.

Motor Primoco 250 a 340

340-tka je čtyřválcový motor s objemem 340 cm^3 , 250-tka je dvouválcový s objemem 250 cm^3 . Oba motory jsou chlazené vzduchem, mají generátor o výstupu 1200 W. Doporučované palivo je bezolovnatý 95 oktanový benzín. Systém zapalování s dvojitou jiskrou nabízí vyšší spolehlivost a bezpečnost letu. [27]



Obr. 13: Motor Primoco 340 [27]

Základní technické parametry	PRIMOCO ENGINE 250
Objem	250 cm^3
Max. výkon	22.37 kW
Hmotnost	8 kg
Max. otáčky	6800 ot/min
Počet pístů	2

Tab. 5 Parametry motoru Primoco 250 [27]

Základní technické parametry	PRIMOCO ENGINE 340
Objem	340 cm^3
Max. výkon	18.64 kW
Hmotnost	15 kg
Max. otáčky	5000 ot/min
Počet pístů	4

Tab. 6 Parametry motorů Primoco 340 [27]

3.3 MVVS

MVVS vyrábí benzínové motory od roku 1953. Nabízí motory menší třídy, od 30 cm^3 do 190 cm^3 . Tyto motory jsou určeny pro pohony rádiem řízených modelů letadel s vysokými nároky na létání. Pro motory MVVS je doporučován automobilový bezolovnatý benzín 95 oktanů. MVVS nabízí celkově 31 různých konfigurací pístových motorů. Zde byli vybráni zástupci středních objemových tříd.

Motor MVVS 175 NP

Pístový motor typu boxer. Byl optimalizován točivý moment při běhu na nižší otáčky, aby chod motoru více vyhovoval vrtuli. Motor obsahuje spodní sání a řízený klapkový ventil. Válce jsou z hliníkové slitiny, vnitřní pracovní plocha byla upravena metodou Nikasil. Motor MVVS 175 je navržen tak, že jeho výkonová charakteristika má maximum při otáčkách 5800–6300 ot/min dle typu výfuku. Není doporučeno používat vrtule, se kterými bude motor na zemi točit více jak 7000 ot/min. [28]



Obr. 14: MVVS 175 NP [28]

Základní technické parametry	MVVS 175 NP
Objem	172,8 cm ³
Max. výkon	14,5 kW
Hmotnost	4,2 kg
Max. otáčky	7500 ot/min
Počet pístů	2

Tab. 7 Parametry motoru MVVS 175 NP [28]

Motor MVVS 190 CN4

Jedná se o čtyřválcový boxer (písty jdou proti sobě) se spodním sáním. Řízený klapkový ventil zajišťuje stejné dávkování směsi pro každý válec. Výfuky jsou orientovány na spodní stranu. [29]



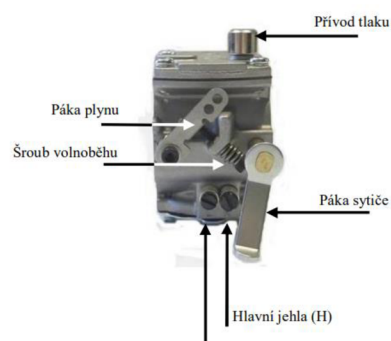
Obr. 15: MVVS 190 CN4 [29]

Základní technické parametry	MVVS 190 CN4
Objem	190 cm ³
Max. výkon	16,3 kW
Hmotnost	5 kg
Max. otáčky	9500 ot/min
Počet pístů	4

Tab. 8 Parametry motoru MVVS 190 CN4 [29]

Namontován karburátor Walbro. Tento karburátor je vybaven dvěma seřizovacími jehlami s označením H a L. Jehla H slouží k seřízení karburátoru v vyšších otáčkách a jehla L při nízkých až středních.

Doporučen automobilový bezolovnatý benzín 95 oktánů smíchaný v poměru 40:1 benzínu a oleje Mobil Racing 2T. V nutných případech je možno použít kvalitní značkové syntetické oleje určené pro závodní dvoutaktní motory. Pro záběh motoru lze využít olej MVVS Racing 2T, který je součástí balení, v poměru 30:1. [30]



Obr. 16: aplikovaný karburátor [30]

3.4 FIALA PROP

Motor FM 120 – B2 - FS – UAV

Divize Fiala Motors vyvinula a dodává na trh motor upravený speciálně pro potřeby UAV. Jde o pístový čtyřtákní boxer s rozvodem OHV o objemu 120 cm³. EFI systém - elektronické vstřikování paliva se sekvenčním ovládním dvou vstřikovačů reguluje palivové směsi na základě nadmožské výšce. El. generátor má výkon 250 W, ale lze zvýšit výkon dle potřeb zákazníka. Mikroprocesorové zapalování umožňuje snadné startování a plynulý běh při celém rozsahu otáček. Maximální výška letu je 6000 metrů. Dostupná tažná a tlačná konfigurace. Obsahuje ECU systém – na led displeji jsou zobrazeny základní informace o motoru. Palivo možné k použití je 95 – 105 oktanový benzín. [31]



Obr. 17: FM 120-B2-FS – UAV [31]

Základní technické parametry	FM 120 – B2 – FS - UAV
Objem	120 cm ³
Max. výkon	22, 37 kW
Hmotnost	5 kg
Max. otáčky	6800 ot/min
Počet pístů	2????
Měrná spotřeba	0,340 kg/kW/h

Tab. 9 FM 120-B2-FS-UAV [31]

Motor VM 800 – R7 – FS, VM 420 – R5 - FS a VM 250 – R5 – FS

Jsou to hvězdicové motory určené převážně na modely letadel. Jedná se o čtyřdobé benzínové motory s rozvodem OHV a dva ventily na válec. Vhodným palivem je bezolovnatý benzín s minimálním oktanovým číslem 95 smíchaný se syntetickým olejem. Elektrické palivové čerpadlo Fiala. [32]

Základní technické parametry	VM 800 – R7 – FS	VM 420 – R5 - FS	VM 250 – R5 – FS
Objem	800 cm ³	420 cm ³	250 cm ³
Hmotnost	28,2 kg	11,8 kg	5,6 kg
Maximální otáčky	3 800 ot/min	-	4400 ot/min
Počet pístů	7	5	5
Cena	209 000 Kč	112 000 Kč	90 000 Kč

Tab. 10 Parametry hvězdicových motorů Fiala PROP [32, 33, 34]

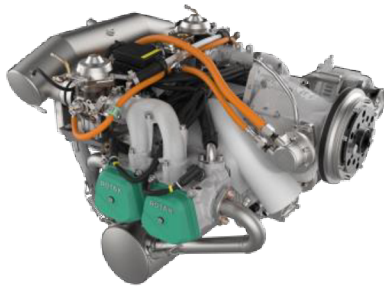
4 SPALOVACÍ MOTORY PRO POHON UAV VYRÁBĚNÉ V ZAHRANIČÍ

4.1 ROTAX

Rakouský výrobce letadlových motorů s dlouhou historií. Rotax není firma přímo zaměřená na výrobu pohonných jednotek pro UAV. Ale motor Rotax je jedním z nejvíce používaných pístových motorů a našel si své využití u mnoha bezpilotních letadel (převážně v armádě). [35]

Motor Rotax 912 ULS

Série Rotax 912 uvedena do produkce od roku 1989. Jedná se o čtyřválcový čtyřtaktní motor typu boxer. Válce jsou chlazené vzduchem a hlavy válců jsou chlazené kapalinou. Dva karburátory udržují konstantní tlak v difuzoru. Vyžaduje zvláštní postup předletové kontroly, protože obsahuje mazání se suchou skříní (olejová nádrž je na 3 litry). Obsahuje reduktor s převodem 2,43 a zapalování DUCATI double CDI. Možnost použití olovnatého, bezolovnatého benzínu nebo AVGAS 100LL. Životnost byla původně 600 hodin ale postupem času byla zvyšována a nyní je kolem 2000 hodin. Motor je určen převážně na lehké a středně velké letouny - Bayraktar. [36, 37]



Obr. 18: Rotax 912 ULS [36]

Základní technické parametry	Rotax 912
Objem	1352 cm ³
Max. výkon	73,5 kW
Hmotnost	60 kg
Max. otáčky	5 800 ot/min
Počet pístů	4
Měrná spotřeba	0,285 kg/kW/h
Cena	520 tis. Kč

Tab. 11 Parametry motoru Rotax 912 [36]

Motor Rotax 914 UL

Vychází z motoru Rotax 912. Série se začala vyrábět v roce 1996. Nabízí větší výkon než svůj předchůdce. Svým poměrem výkon – hmotnost je vhodný na použití středně velkých UAV. [38]



Obr. 19: Rotax 914 UL [39]

Základní technické parametry	Rotax 914
Objem	1211,2 cm ³
Max. výkon	84,5 kW
Hmotnost	78 kg
Max. otáčky	5 800 ot/min
Počet pístů	4
Měrná spotřeba	0,285 kg/kW/h
Cena	726 tis Kč

Tab. 12 Parametry motoru Rotax 914 UL [39]

Rotax 915

Produkce od roku 2017. Založen na motoru Rotax 912, ale obsahuje zesílený klikový hřídel. Možnost použití s maximálním výkonem do výšky 4500 metrů, maximální dostupnost je 7000 metrů. Obsahuje nový reduktor s převodem 2,54. Použití v letounu Heron. [40, 41]



Obr. 20: Rotax 915 [41]

Základní technické parametry	Rotax 915
Objem	1211,2 cm ³
Max. výkon	105 kW
Hmotnost	84,6 kg
Max. otáčky	5 800 ot/min
Počet pístů	4
Měrná spotřeba	0,310 kg/kW/h
Cena	880 tis. Kč

Tab. 13 Parametry motoru Rotax 915 [41]

4.2 UAV ENGINES LTD

Menší producent pohonných jednotek se sídlem ve Velké Británii. Produkce motorů se rozšířila do více než 25 států.

AR731 – 38 BHP

Jde o Wankelův typ motoru, který nabízí nejvyšší poměr výkon/hmotnost ze všech motorů s rotačním pístem. Jeho použití je hlavně ve cvičných tercích a v UAV s krátkou životností (TBO pouze 10-50 hodin). [42]



Obr. 21: AR731 – 38 BHP [43]

Základní technické parametry	AR731 – 38 BHP
Objem	208 cm ³
Max. výkon	28,3 kW
Hmotnost	9,9 kg
Max. otáčky	7800 ot/min
Typ motoru	Wanklův
Měrná spotřeba	0,346 kg/kW/h

Tab. 14 Parametry motoru AR731 – 38 BHP [42]

AR741 – 38 BHP

Vychází z předchůdce AR731. Nabízí horší výkon než AR731, ale jeho životnost při testech odolnosti přesahuje 150 hodin. Tento motor je převážně používán na průzkumná UAV. [44] V ČR byl tento motor použit na bezpilotní komplet Sojka III. Jednalo se o bezpilotní letoun navržený pro vzdušný průzkum v reálném čase v roce 1999. Také hrál důležitou roli při nácvičce střelby tepelně naváděnými raketami. [45]



Obr. 22: AR74 – 38 BHP [46]

Základní technické parametry	AR741 – 38 BHP
Objem	208 cm ³
Max. výkon	28,3 kW
Hmotnost	10,7 kg
Max. otáčky	7800 ot/min
Typ motoru	Wanklův
Měrná spotřeba	0,346 kg/kW/h

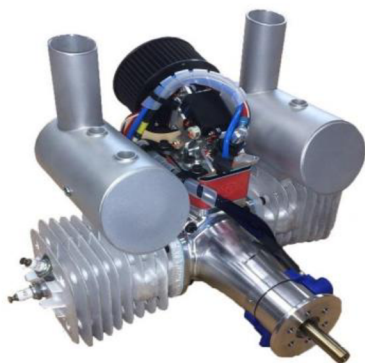
Tab. 15 Parametry motoru AR741 – 38 BHP [46]

4.3 POWER4FLIGHT

Společnost byla založena v roce 2014. Zaměřuje se na poskytování kompletních pohonných jednotek pro UAV (motor, startér/generátor, EFI systém)

B150i

Vzduchem chlazený dvouválcový benzínový motor. Uspořádání pístů proti sobě pomáhá snížit vibrace. Je nabízen bez generátoru, ale může být dokoupen. Systém zapalování s dvojitou jiskrou nabízí větší spolehlivost motoru. Objem motoru je 150 cm³. Při hmotnosti 4,3 kg a výkonu 7,5 kW patří mezi horší motory v poměru výkon hmotnost. Možnost použití v tlačné nebo tažné verzi. [47]



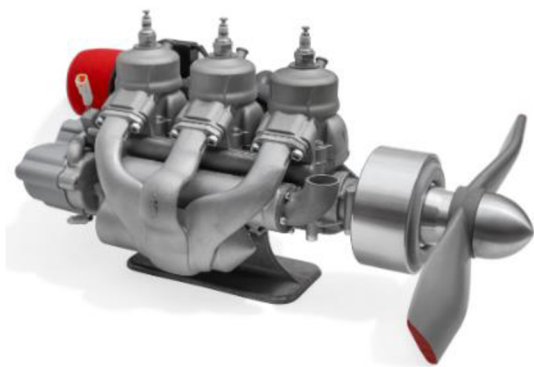
Obr. 23: B150i [47]

Základní technické parametry	B150i
Objem	150 cm ³
Max. výkon	7,5 kW
Hmotnost	4,3 kg
Max. otáčky	7000 ot/min
Počet pístů	2
Měrná spotřeba	0,46 kg/kW/h

Tab. 16 Parametry motoru B150i [47]

A99

A99 je aktuálně ještě ve vývoji. Jde o tříválcový řadový motor chlazený kapalinou s výkonem 6 kW při otáčkách 8200 za minutu. Objem motoru je 99 cm³ a hmotnost 3,65 kg. Povedlo se snížení hmotnosti díky nahrazení částí 3D tiskem. Vyznačuje se velmi tichým chodem. [48]



Obr. 24: A99 [48]

Základní technické parametry	A99
Objem	99 cm ³
Max. výkon	6 kW
Hmotnost	3,65 kg
Max. otáčky	8200 ot/min
Počet pístů	3
Měrná spotřeba	0,5 kg/kW/h

Tab. 17 Parametry motoru A99 [48]

4.4 NORTHWEST UAV

Od roku 2005 se prodalo několik tisíců pohonných jednotek na vojenské účely. Společnost je schopna produkovat více jak 500 motorů měsíčně.

NW-500

Jde o výkonný dvouválcový benzínový motor o objemu 521 cm³ navržený pro letadla do 250kg. Obsahuje vibrační izolační systém a jednotku ECU. Tažná a tlačná verze. [49]



Obr. 25: NW-500 [49]

Základní technické parametry	NW-500
Max. výkon	32 kW
Max. otáčky	6350 ot/min
Počet pístů	2

Tab. 18 Parametry motoru NW-500 [49]

4.5 SKY POWER

Sky Power je předním výrobcem dvoudobých spalovacích motorů pro bezpilotní letouny. Možnost výroby motorů na míru, nabízené motory mohou být použity v různých konfiguracích dle potřeb zákazníka. [50]

SP-210

SP-210 je dvouválcovým motorem. Daná pohonná jednotka je vybavena duálním zapalováním HKZ215 a jednotkou ECU030. [51]



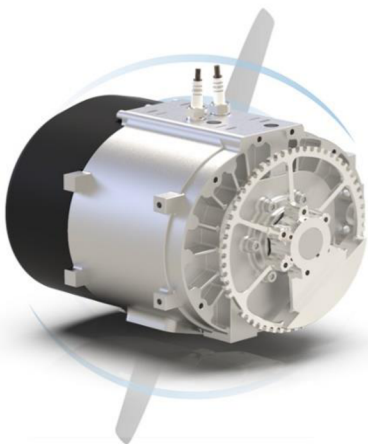
Obr. 26: SP-210 [51]

Základní technické parametry	SP-210 FI TS
Objem	210 cm ³
Max. výkon	11 kW
Hmotnost	84,6 kg
Max. otáčky	6500 ot/min
Počet pístů	2
Typ motoru	4 takt

Tab. 19 Parametry motoru NW-500 [51]

SP-180 hybrid

Tato výrobní řada nabízí spalovací motor s rotačním pístem. Možností je standartní, nebo vysokotlaké vstřikování. Chlazení motoru je zajištěno vodním chlazením skříně a olejovým chlazením rotoru, což zajišťuje vyšší spolehlivost při náročných podmínkách. [52]



Obr. 27: SP-180 [52]

Základní technické parametry	SP-180 hybrid
Objem	110 cm ³
Max. výkon	22 kW
Hmotnost	9,5 kg
Max. otáčky	6000 ot/min
Typ motoru	Wanklův
Měrná spotřeba	0,34 kg/kW/h

Tab. 20 Parametry motoru SP-180 [52]

SP-275

Dvouválcová řada je navržena se dvěma zapalovacími svíčkami. Generátor je namontován na zadní výstupní hřídeli. Motor je k dispozici s nebo bez nosiče systému. Patří zde motor SP-275 TS CR a SP-275 TS CR-03. Oproti svému předchůdci nabízí verze 03 stejné specifikace, ale je o 560 gramů lehčí a 8 centimetrů menší. [53]



Obr. 28: SP-275 TS CR-03 [53]

Základní technické parametry	SP-275
Objem	275 cm ³
Max. výkon	15,9 kW
Hmotnost	6,7 kg
Max. otáčky	10 000 ot/min
Počet pístů	2

Tab. 21 Parametry motoru SP-275 [53]

4.6 UAVOS

UAVOS Inc. je menší společností zaměstnávající kolem 90 lidí. Sídlí v Silicon Valley, Hong Kongu a Švýcarsku. Specializují se na tvorbu softwaru pro bezpilotní letouny, ale vyrábí i dva typy motorů pro bezpilotní prostředky. [54]

UAV-170 a UAV-85

UAVOS se při konstrukci inspirovali motory společnosti Fiala PROP. Jedná se o čtyřtákní benzínové motory s OHV rozvodem. Motory jsou vybaveny mikroprocesorem pro jednoduchý a hladký start. Motory vybaveny jednotkou ECU. Generátor byl navržen společností UAVOS za účelem zvýšení výkonu (systém vstřikování paliva se dvěma tryskami, nainstalován startér generátoru bez štětce). [55, 56]



Obr. 29: UAV-170 [55]

Základní technické	UAV-85	UAV-170
Objem	85 cm ³	170 cm ³
Hmotnost	5,5 kg	8,5 kg
Počet pístů		
Měrná spotřeba	0,32 kg/kW/h	0,32 kg/kW/h

Tab. 22 Parametry motorů UAVOS [55, 56]

4.7 UAV FACTORY

UAV Factory je jedním z lídrů v segmentu malých UAV. Jejich produkty lze najít ve více jak 47 zemích. Nesoustředí se pouze na jednu část výroby, dochází zde k návrhu systému, draku, zkoumání nových technologií. [57]

UAV28

Pohonná jednotka vhodná pro bezpilotní letouny do 25 kg. Vyznačuje se dlouhou výdrží a velmi tichým chodem na svou velikost. Jedná se o dvoutaktní jednoválcový motor chlazený vzduchem. Doporučeným palivem Automotive 95+ oktanů. [58]



Obr. 30: UAV28 [58]

Základní technické parametry	UAV28
Objem	28 cm ³
Max. výkon	2,5 kW
Hmotnost	2,2 kg
Max. otáčky	8000 ot/min
Počet pístů	1
Měrná spotřeba	0,4 kg/kW/h

Tab. 23 Parametry motoru UAV28 [58]

4.8 GREAT POWER ENGINE

Jedná se o velkého výrobce spalovacích motorů se sídlem na Taiwanu. Několik let v řadě se jim podařilo vyhrát ocenění nejlepších producentů pohonných jednotek v Asii.

GP178 a GP123 V2

Letecké benzínové ploché motor s obsahem 178 cm³ a 123 cm³. Kliková skříň je vyrobena z hliníkové slitiny. Vhodný pro provoz s expanzními i laděnými tlumiči výfuku. Vyznačuje se svou robustní konstrukcí. Nabízí skvělý poměr výkon – hmotnost. Motor je osazen ložisky SKF. U většího je použit karburátor Tillotson HT-14A, u menšího Walbro MJ-71. Oba jsou opatřeny síticem. Zapalování je elektronické, určené pro napájení z akumulátorů. Doporučené palivo bezolovnatý benzín 95. [59, 60]



Obr. 31: GP178 [59]

Základní technické parametry	GP178	GP123 V2
Objem	178 cm ³	123 cm ³
Max. výkon	16 kW	9 kW
Hmotnost	4,2 kg	2,8 kg
Max. otáčky	9000 ot/min	8900 ot/min
Počet pístů	2	2

Tab. 24 Parametry motorů GP178 [59, 60]

5 SHRnutí PARAMETRŮ VÝŠE UVEDENÝCH MOTORŮ

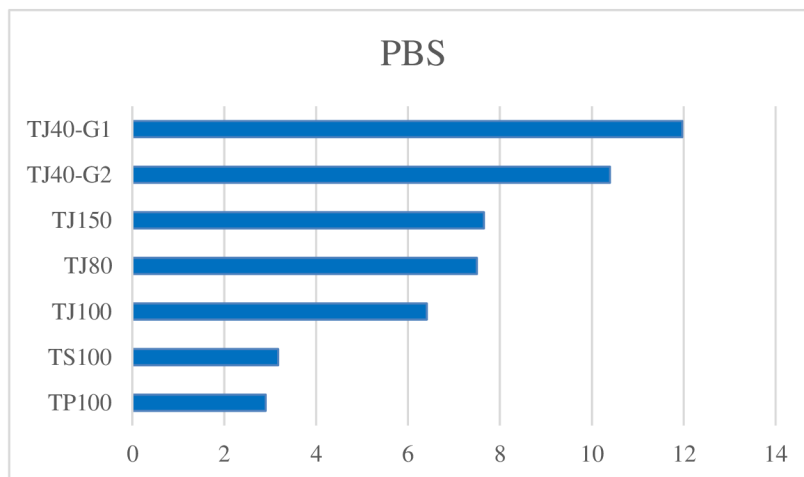
	Primoco 250	GP 178	FM 120	UAV28	MVVS 175	Rotax 915	SP-275	AR 731	UAV-170	B150i
Výrobce	Primoco	Greap Power Engine	Fiala PROP	UAV Factory	MVVS	Rotax	Sky Power	UAV engines ltd.	UAVOS	Power4F light
Počet válců	2	2	2	1	2	4	2	Wanklův motor		2
Objem (cm ³)	250	178	120	28	175	1352	275	208	170	150
Výkon (kW)	22,37	16	5	2,5	14,5	105	15,9	28	6,8	7,5
Hmotnost (kg)	8	4,2	5	2,2	4,2	84,6	6,7	9,9	8,5	4,3
Chlazení	Vzduch	Vzduch	Vzduch	Vzduch	Vzduch	Vzduch/voda		Vzduch		Vzduch
Max. otáčky (ot/min)	6800	9000	6000	8000	7500	5800	10 000	7800		7000
Palivo	N95	N92		N95+	N95	AVGAS 100LL				
Startér	Ano	Ano	Ano		Ano					
Počet svíček	2	2	1				2			
Vstřikování	El.	El.	El.							
Spotřeba (kg/KW/h)			0,34	0,4	0,34	0,31		0,346		0,46
Olej/benzín		1:40		1:50	1:40		1:50	1:50		
TBO (hod)	400			500		2000		50		
Cena (Kč)		39 000	56 475		55 200	880 000				

Tab. 25 Parametry vybraných motorů

6 POROVNÁNÍ

6.1 POROVNÁNÍ POMĚRU VÝKON / HMOTNOST

Nejprve budeme porovnávat motory dle poměru výkon/hmotnost. Jedná se o veličinu popisující výkon motoru na jednotku hmotnosti, která nám umožňuje srovnávat motory různých rozměrů.



Graf 1: Poměr výkon/hmotnost motorů PBS

Na grafu 1 je srovnání pouze motorů PBS. Tyto motory se liší svým pohonem, protože tady zahrnují motory proudové, turbovrtulové a turbohřídelové. Proto jsou mezi výsledky tak velké rozdíly.

Pro lepší porovnání a přesnější výsledky budu nadále porovnávat mezi sebou pouze pístové motory.



Graf 2: Poměr výkon/hmotnost motorů českých výrobců

1	Fiala FM120	7	MVVS 96 NP
2	Primoco 340	8	MVVS 30 IFS/RC
3	MVVS 116 iL	9	MVVS 58 PRO
4	MVVS 116 NP	10	Primoco 250
5	MVVS 58 IRS	11	MVVS 190 CN4
6	MVVS 58 LC	12	MVVS 175 NP

Tab. 26 Seznam motorů



Graf 3: Poměr výkon/hmotnost motorů zahraničních výrobců

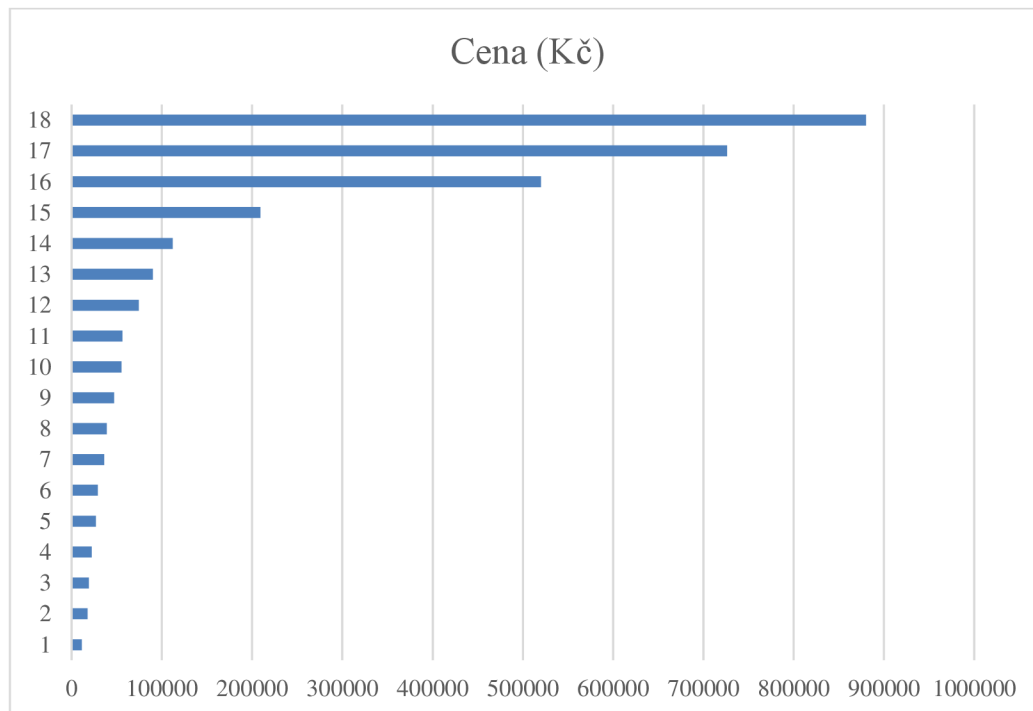
1	UAV-85	9	B150i
2	UAV-170	10	SP-180 hybrid
3	FM120-B2-FS-	11	SP-275 TS CR-03
4	Rotax 914	12	AR741
5	SP-210 FI TS	13	AR731
6	Rotax 912	14	GP123 V2
7	Rotax 915	15	GP178
8	A99		

Tab. 27 Seznam motorů

Zdaleka nejlepší výsledky vykazují motory společnosti Great Power Engine. Horší poměr výkon – hmotnost zobrazovaly motory s menším objemem.

6.2 CENA

Důležitým faktorem při výběru motoru je jeho cena. Bohužel ne všechny společnosti měly veřejně stanovenou cenu za pohonnou jednotku, proto dělám porovnání na menším vzorku. U ostatních nebyla pevně stanovena částka za motor, pravděpodobně protože se bude hodně lišit na základě požadavků od zákazníka.



Graf 5: Srovnání cen stanovených MVVS

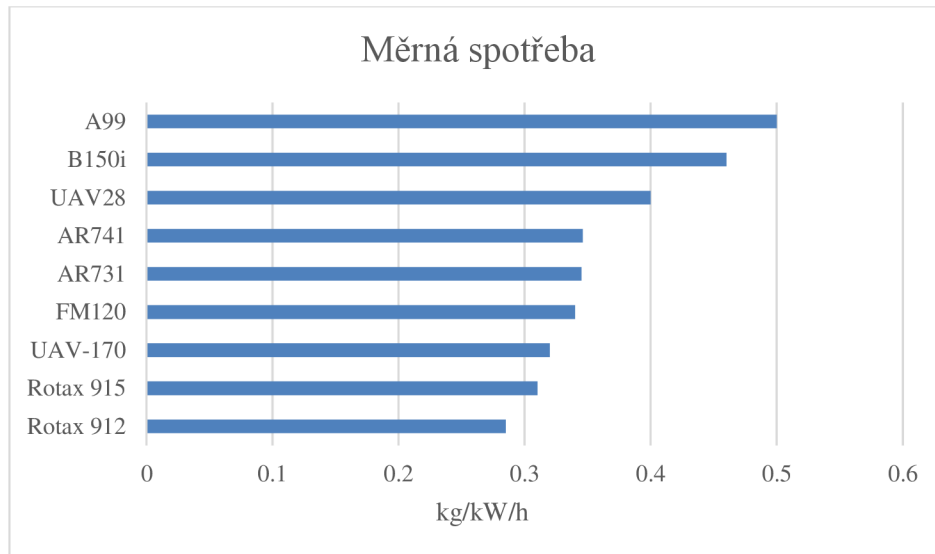
1	MVVS 30	7	MVVS 116 NP	13	VM 250
2	MVVS 58 IRS	8	GP178	14	VM 420
3	MVVS 58	9	MVVS 116 iL	15	VM 800
4	MVVS 58 LC	10	MVVS 175 NP	16	Rotax 912
5	GP123 V2	11	FM120	17	Rotax 914
6	MVVS 96 NP	12	MVVS 190 CN4	18	Rotax 915

Tab. 28 Seznam motorů

Nejdražší jsou motory Rotax, dosahovaly až 880 tis. Kč. Tyto motory jsou určeny pro velké UAV, kde částky takových letounů mohou být i stovky miliónů korun, takže cenově proti letounu jsou stále zanedbatelné.

6.3 MĚRNÁ SPOTŘEBA

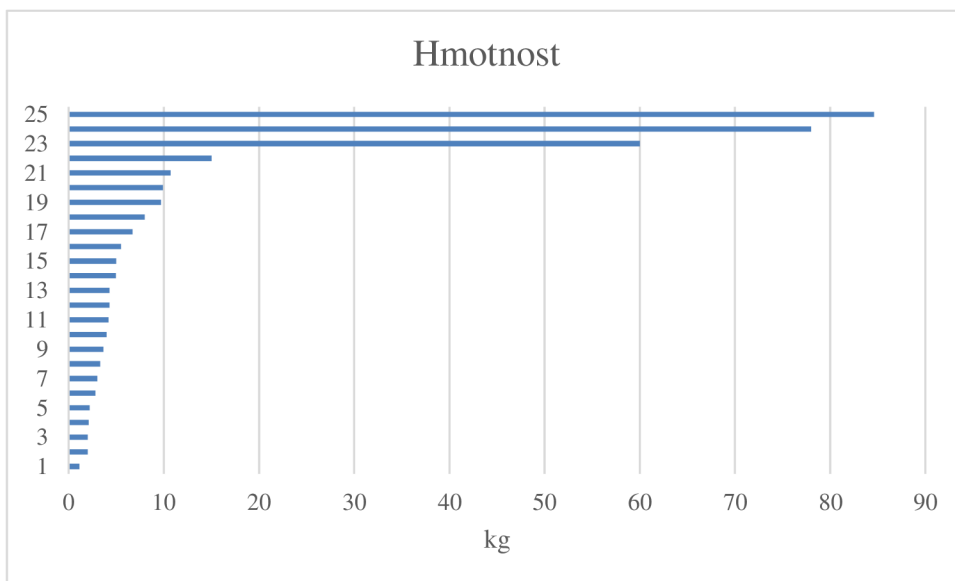
Spotřeba paliva se nejčastěji udává výrobcí v tzv. měrné spotřebě. Tato veličina udává hmotností množství paliva potřebné k vykonání jednotky mechanické práce. Při stejném použitém palivu je tato jednotka přímo úměrná produkci CO₂. Hodnota se může měnit v závislosti na otáčkách a zatížení, proto je zde udáváná vždy maximální hodnota spalování.



Graf 6: Srovnání měrné spotřeby u pístových motorů

Pístové motory mají oproti jiným typům nízkou spotřebu, jsou neekonomičtější. K pohonu využívají letecký benzín. Nejlepší výsledky vykazují motory Rotax.

6.4 HMOTNOST



Graf 7: Srovnání hmotnosti u pístových motorů

1	MVVS 58 IRS	7	MVVS 116 NP	13	MVVS	19	AR731
2	MVVS 58	8	A99	14	FM120-	20	AR741
3	MVVS 58 LC	9	GP178	15	UAV-85	21	primoco 340
4	UAV28	10	MVVS 175 NP	16	SP-275	22	Rotax 912
5	GP123 V2	11	MVVS 116 iL	17	primoco	23	Rotax 914
6	MVVS 96 NP	12	B150i	18	SP-210 FI	24	Rotax 915

Tab. 29 Seznam motorů

7 BUDOUCNOST BENZÍNOVÝCH MOTORŮ PRO UAV

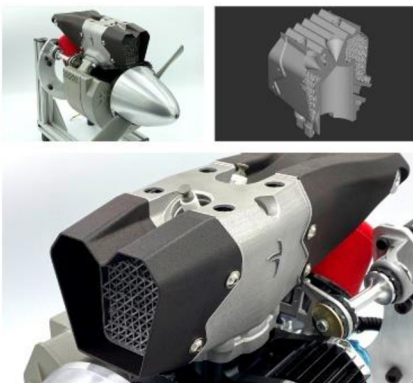
Podíl benzínových spalovacích motorů na celkovém trhu letectví je velmi malý. Tento typ motorů je starší technologií, nenabízí tak dobrý poměr výkon / hmotnost. Většina benzínových motorů používá palivo AVGAS. Výrobci jsou ze strany vlády velmi často omezováni používáním olovnatého benzínu, kvůli ochraně životního prostředí. Problémem je, že bezolovnatý benzín nenabízí dostatečný výkon pro větší letouny. Palivové systémy spotřebovávající petrolej jsou mnohem výkonnější, ale také jsou náročnější aby způsobily správnou atomizaci paliva.

Požadavky na bezpilotní letouny nejsou ve většině případech tak vysoké, jako jsou v civilním letectví. Proto jsou pístové motory některými výrobci UAV přímo upřednostňovány. Tyto pohonné jednotky jsou konstrukčně jednodušší a jejich případná oprava není tak drahá, navíc jsou méně náročné na spotřebu paliva.

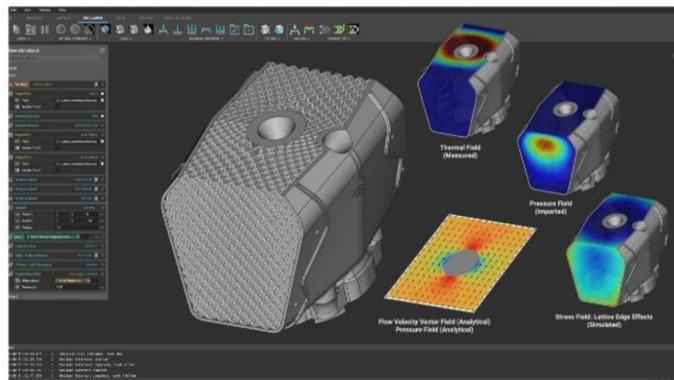
Stále se vyvíjí výkonnější pístové motory, pokrok už ale není tak velký, protože dosahují svých technologických možností. Nejčastěji vyráběné jsou protilehlé čtyř a šestiválcové motory vzduchem chlazené. Použití 3D tisku umožňuje snížení celkové hmotnosti motoru a je některými výrobci hojně využíván. Možností přímého pohonu (vynechání reduktoru) u některých letounů jsme schopni hmotnost snížit a zvýšit spolehlivost motoru. Za účelem snížení emisí a zvýšení výkonu dochází k modernizaci systému vstřikování paliva a digitální řídicí jednotky motoru, které zlepšují optimálnost směsi paliva a vzduchu v jakékoli výšce. V některých zážehových leteckých motorech je i využíván systém dvojího zapalování (Twin spark) za účelem redundance, díky čemuž motor dosahuje dokonalejšího spalování a větší bezpečnosti.

Benzínové motory byly na úpadku od doby vynalezení proudových a turbovrtulových motorů, ale nyní představují spolu s elektrickými motory ideální řešení pro použití malých UAV, zejména kvůli své jednoduchosti.

Zajímavý vývoj v této oblasti provádí firma Cobra Aero ze Spojených států. Vyrábí a inovuje menší pohonné jednotky, u kterých jsou některé komponenty vyrobeny technologií 3D tisku, tj. spékáním prášku slitiny hliníku na stroji Renishaw AM 500. Postupně rozvíjí tři platformy a analyzují dosažené výsledky pro budoucí uplatnění v sériové produkci. V současnosti tisknou díly jako hlava válce a píst, z důvodu lepšího odvodu tepla.



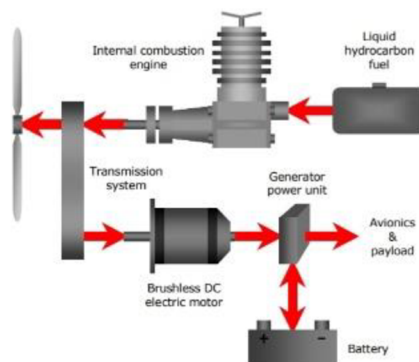
Obr. 30: 3D tisk hlavy válce [61]



Obr. 31: Simulace rozložení teplot

Platforma Cobra Aero - AXXN

U tohoto standardního konceptu je výstupní hřídel spalovacího motoru přímo spojená s vrtulí a řemenem s generátorem elektrické energie, který zajišťuje napájení avioniky, senzorů a řídicí jednotky. Příkladem je motor A33N.



Obr. 32: koncept platformy AXXN [61]

Platforma Cobra Aero - AXXP

V tomto případě se jedná o paralelní (hybridní) uspořádání pohonu vrtule, kde spalovacímu motoru pomáhá v čase potřeby vyššího výkonu elektromotor / generátor. Toto uspořádání generuje vyšší výkon než platforma AXXN.

Platforma Cobra Aero - AXXE

Jde o plně sériové uspořádání pohonu, kde se veškerý výkon spalovacího motoru přemění na elektrickou energii a k pohonu vrtule je použit elektromotor.

Motor Cobra Aero A33N

Tento inovativní dvoutaktní motor má vysoký výkon v poměru ke své hmotnosti a nízkou akustickou stopu. Hardware, elektronika i software jsou speciálně navrženy pro systém UAS. Pomocí výpočetních simulací bylo optimalizováno proudění vzduchu kolem hlavy válce, zejména na výfukové straně. Motor je řízen elektronikou Power4Flight IntelliJect ECU a má elektronické vstřikování paliva. Generátor zajišťuje výrobu el. energie a startování.



Obr. 33: Cobra Aero A33N [61]

Základní technické	GP178
Objem	22 cm ³
Max. výkon	2 kW
Hmotnost	2,25 kg
Max. otáčky	8200 ot/min
Počet pístů	2

Tab. 30 Parametry motoru A33N [61]

ZÁVĚR

V aktuálním období, kdy je trendem automatizovat lidskou činnost, průmysl a služby, představuje UAV další prostředek pro plnění těchto cílů. Protože srdcem každého letounu je motor, je pro navazující vývojové práce podstatné mít přehled o současných vyráběných typech a vybrat ten správný pohon. Tato bakalářská práce může posloužit jako jeden z výchozích zdrojů pro návrh nového systému UAS. Údává podstatné informace o pohonných jednotkách a odkazuje se na důležité výrobce v oboru. V souhrnu jsou srovnány motory mezi sebou a před závěrem je popsán budoucí trend vývoje benzinových motorů.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2010 [cit. 2020-06-07]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned_aerial_vehicle
- [2] *TheUAV* [online]. 2006 [cit. 2020-06-07]. Dostupné z: <https://www.theuav.com/>
- [3] *UAV Factory: Gallery* [online]. 2012 [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <https://www.uavfactory.com/page/gallery>
- [4] *Droneweb* [online]. 2014 [cit. 2020-06-07]. Dostupné z: <http://www.droneweb.cz/co-je-dron>
- [5] SINGHAL, Gaurav, Babankumar BANSOD a Lini MATHEW. *Unmanned Aerial Vehicle classification, Applications and challenges: A Review* [online]. Preprints, 2018 [cit. 2020-06-26]. DOI: 10.20944/preprints201811.0601.v1. Dostupné z: <https://www.preprints.org/manuscript/201811.0601/v1>
- [6] VISINGR, Lukáš. *Military.cz: Bezpilotní bojové letouny* [online]. 1998 [cit. 2020-10-07]. Dostupné z: http://www.military.cz/usa/air/in_service/unmanned/uvod/ucav.htm
- [7] KUSSIOR, Zdeněk. *Leteckemotory* [online]. 2002 [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <http://www.leteckemotory.cz/teorie/typy-leteckych-motoru/>
- [8] GRAMMATIKIS, Panagiotis Radoglou, Panagiotis SARIGIANNIDIS a Ioannis MOSCHOLIOS. *A compilation of UAV applications for precision agriculture* [online]. 2020 [cit. 2020-07]. DOI: 10.1016/j.comnet.2020.107148. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S138912862030116X?via%3Dihub#!>
- [9] *Agtecher: Platform for Agricultural Technology* [online]. 2017 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <https://chmibrno.org/blog/2018/12/08/co2-emise-podle-zemi/>
- [10] BARNARD, Joseph. *Unmanned Air Vehicle Features, Applications and Technologies* [online]. 2006 [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.434.2835&rep=rep1&type=pdf>
- [11] *Techspot: Austrian Airlines trials autonomous drones for aircraft inspection* [online]. 2019 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <https://www.techspot.com/news/81928-austrian-airlines-trials-autonomous-drones-aircraft-inspection.html>
- [12] *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2009 [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_unmanned_aerial_vehicle_applications
- [13] *Primoco UAV* [online]. 2014 [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://uav-stol.com/applications/>

- [14] *UPVISION: Bezpilotní letecké systémy a jejich specifika* [online]. 2014 [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: https://www.hgf.vsb.cz/export/sites/hgf/544/.content/galerie-souboru/oborovy_seminar/2019/Karas.pdf
- [15] KOCÁB, Jindřich a Josef ADAMEC. *Letadlové motory*. Křihkupectví a nakladatelství dopravní a odborné literatury Praha: KANT, 2000.
- [16] *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Reduktor>
- [17] HANUS, Daniel. *Webdav.agents.fel.cvut: Pohon letadel a letadlové motory* [online]. 2014 [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: https://www.hgf.vsb.cz/export/sites/hgf/544/.content/galerie-souboru/oborovy_seminar/2019/Karas.pdf
- [18] *Wikipedia: Schéma s celkovým obtokem a malým obtokovým poměrem* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2009 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Dvouproudov%C3%BD_motor#/media/Soubor:Turbofan_operation_lbp.svg
- [19] *Wikipedia: Schéma činnosti proudového motoru s radiálním kompresorem* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2009 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Proudov%C3%BD_motor#/media/Soubor:Turbojet_operation-centrifugal_flow.png
- [20] STORM, Roger, Mark SKOR, Lisa KOCH, Tom BENSON a Carol GALICA. *Pushing the Envelope: A NASA Guide to Engines* [online]. 2007 [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: [https://er.jsc.nasa.gov/seh/ANASAGUIDETOENGINES\[1\].pdf](https://er.jsc.nasa.gov/seh/ANASAGUIDETOENGINES[1].pdf)
- [21] *Wikipedia: Schéma zobrazující činnost turbovrtulového motoru* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2009 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Turbovrtulov%C3%BD_motor#/media/Soubor:Turboprop_operation-en.svg
- [22] *Wikipedia: První brněnská strojirna Velká Bíteš* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2009 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Prvn%C3%AD_brn%C4%9Bnsk%C3%A1_stroj%C3%ADrna_Velk%C3%A1_B%C3%ADte%C5%A1
- [23] *Pbs.cz* [online]. 2017 [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://www.pbs.cz/cz/produkty/letectvi/letecke-motory/turbovrtulovy-motor-pbs-tp100>
- [24] *Digitovarna: Motory, které obletěly svět* [online]. 2017 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <http://www.digitovarna.cz/clanek-84/motory-ktere-obletely-svet.html>
- [25] *PBS: Aerospace technology* [online]. 2017 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <https://www.pbs.cz/getmedia/dcb1cabd-f44c-4e7d-9d26-f91a6f9fc8ea/PBS-Aerospace-products.pdf.aspx?ext=.pdf>
- [26] *PBS: TS100* [online]. 2017 [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://www.pbs.cz/cz/produkty/letectvi/letecke-motory/turbohridelovy-motor-pbs-ts100>

- [27] *Primoco: Primoco engine* [online]. 2019 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <http://engine-uav.com/>
- [28] *MVVS: MVVS 175 NP* [online]. 2019 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <https://www.mvvs.cz/eshop/cs/175cc/20-mvvs-175-np-novy-design-.html>
- [29] *MVVS: MVVS 190 CN4* [online]. 2019 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <https://www.mvvs.cz/eshop/cs/190cc/22-mvvs-190-cn4.html>
- [30] *MVVS: Návod 175cc* [online]. 2012 [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <https://www.mvvs.cz/eshop/cs/175cc/20-mvvs-175-np-novy-design-.html>
- [31] *Fial PROP: Návod motor FM_120B2-FS* [online]. 2019 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: *PROP: M 800 – R7 - FS* [online]. 2019 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <https://vrtule-fiala.cz/cs/modelarske/fm-120-b2-fs-104.html>
- [32] *Fial PROP: M 800 – R7 - FS* [online]. 2019 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <https://vrtule-fiala.cz/cs/modelarske/fm-800-r7-fs-111.html>
- [33] *Fial PROP: VM 420 – R5 - FS* [online]. 2019 [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <https://vrtule-fiala.cz/cs/modelarske/fm-60-s1-fs-113.html>
- [34] *Fial PROP: VM 250 – R5 - FS* [online]. 2019 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <https://vrtule-fiala.cz/cs/modelarske/fm-250-r5-fs-108.html>
- [35] *Wikipedia: Rotax* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2009 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Rotax>
- [36] *TEVESO s.r.o.: ROTAX* [online]. 2014 [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: <https://teveso.cz/motory/ctyrtaktnei-necertifikovane/rotax-912-uls>
- [37] *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Rotax_912
- [38] *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Rotax_914
- [39] *TEVESO s.r.o.: ROTAX* [online]. 2014 [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: <https://teveso.cz/motory/ctyrtaktnei-necertifikovane/rotax-914-ul>
- [40] *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Rotax_915_iS
- [41] *TEVESO s.r.o.: ROTAX* [online]. 2014 [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: <https://teveso.cz/motory/ctyrtaktnei-necertifikovane/rotax-915-is-a>
- [42] *Uavenginesltd: AR731 - 38BHP* [online]. 2011 [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: <https://uavenginesltd.co.uk/wp-content/uploads/2019/03/ar731.pdf>

- [43] *UAVNenginesltd: AR731 – 38 BHP* [online]. 2019 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <https://uavenginesltd.co.uk/products/ar731-38-bhp/>
- [44] *UAVNenginesltd: AR741 – 38 BHP* [online]. 2019 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <https://uavenginesltd.co.uk/products/ar741-38-bhp/>
- [45] *SOJKA III* [online]. VTÚL a PVO o.z., 2004 [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: http://lu.fme.vutbr.cz/cuav/index_soubory/prispevky/kuzdas.pdf
- [46] *UAVNenginesltd: AR741 – 38 BHP* [online]. 2019 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <https://uavenginesltd.co.uk/wp-content/uploads/2019/03/ar741.pdf>
- [47] *Power4Flight: B150i* [online]. 2011 [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: <https://power4flight.com/wp-content/uploads/bsk-pdf-manager/2019/05/B150i-Datasheet-final.pdf>
- [48] *Power4Flight: A99 UAV EFI Engine System* [online]. 2011 [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: <https://power4flight.com/uav-engine-products/uav-engine-systems/a99-uav-engine-system/>
- [49] *Northwest UAV* [online]. 2020 [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: <https://indd.adobe.com/view/3dc1d2fb-ab15-43bb-9a31-6e79d700e5ca>
- [50] *Sky Power: Company* [online]. 2017 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <https://skypower.online/about-us/>
- [51] *Sky Power: SP-210 FI TS* [online]. 2017 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <https://skypower.online/wp-content/uploads/2019/04/Sky-Power-SP-210-FI-TS-091019.pdf>
- [52] *Sky Power: SP-180 SRE hybrid* [online]. 2017 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <https://skypower.online/produkt/sp-180-sre-hybrid/>
- [53] *Sky Power: SP-275 TS CR03* [online]. 2017 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: https://skypower.online/wp-content/uploads/2020/04/2020_03_30-SP-275-TS-CR-03.pdf
- [54] *UAVOS: ABOUT US* [online]. 2019 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <https://www.uavos.com/aboutus>
- [55] *UAVOS: UAV-85 Engine* [online]. 2019 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <https://www.uavos.com/products/uav-engines/uav-85-engine>
- [56] *UAVOS: UAV-170 Engine* [online]. 2019 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <https://www.uavos.com/products/uav-engines/uav-170-engine>
- [57] *UAV Factory* [online]. 2019 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <https://www.uavfactory.com/page/about>
- [58] *UAV Factory* [online]. 2019 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <https://www.uavfactory.com/product/77>

- [59] *Great Power Engine: GP123 V2* [online]. 2019 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <https://www.gpengine.world/product/17/26>
- [60] *Great Power Engine: GP178* [online]. 2019 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <https://www.gpengine.world/product/17/26>
- [61] *Cobra aero* [online]. 2019 [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <https://www.cobra-aero.com/>