

UNIVERZITA PARDUBICE  
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2025

Kateřina Kohoutová

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera

Srovnávací analýza pohonů Rotax a Zonsen v kategorii ultralehkých letadel  
Bakalářská práce

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera  
Akademický rok: 2024/2025

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Kateřina Kohoutová**  
Osobní číslo: **D22169**  
Studijní program: **B0716P040001 Technika, technologie a řízení letecké dopravy**  
Téma práce: **Srovnávací analýza pohonů Rotax a Zonsen v kategorii ultralehkých letadel**  
Zadávací katedra: **Katedra letecké dopravy**

## Zásady pro vypracování

Tato bakalářská práce se bude zabývat srovnávací analýzou pístových motorů Rotax a Zonsen v kategorii ultralehkých letadel. Cílem práce je podrobně analyzovat technické specifikace, výhody a nevýhody v konstrukci obou motorů, přičemž důraz bude kladen na klíčové parametry jako je výkon, bezpečnost, letové vlastnosti a ekonomika provozu.

- Technické specifikace motorů Rotax a Zonsen
- Analýza konstrukčních vlastností obou motorů
- Výhody a nevýhody každého motoru z pohledu uživatelského komfortu a spolehlivosti
- Závěr shrnující hlavní poznatky a doporučení pro výběr motoru na základě specifických potřeb uživatele

Rozsah pracovní zprávy: **35-45**  
Rozsah grafických prací: **3-5**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:  
dle pokynů vedoucího práce

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jozef Čerňan, Ph.D.**  
Katedra letecké dopravy

Datum zadání bakalářské práce: **24. února 2025**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **12. května 2025**

L.S.

---

**doc. Ing. Ladislav Řoutil, Ph.D.**  
děkan

---

**Ing. Michaela Ledvinová, Ph.D.**  
pověřená vedením katedry

V Pardubicích dne 25. února 2025

Prohlašuji:

Práci s názvem Srovnávací analýza pohonů Rotax a Zonsen v kategorii ultralehkých letadel jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne

Kateřina Kohoutová

## PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucímu této práce, panu docentovi Čerňanovi za jeho významnou podporu, cenné připomínky a trpělivost, které mi pomohly při psaní této práce, také bych chtěla poděkovat letišti Kříženec a letišti Cheb za poskytnutí prostor a letounů pro realizaci praktické části této práce. Dále bych chtěla vyjádřit díky mé rodině za jejich neustálou podporu během procesu tvorby této práce.

## **ANOTACE**

Tato bakalářská práce se v první části zabývá pístovými letadlovými motory a jejich krátkou historií, dále srovnávací analýzou pístových motorů Rotax a Zonsen v kategorii ultralehkých letadel a výkonnostních zkoušek. Cílem práce je analyzovat technické a konstrukční vlastnosti obou motorů a dále závěr shrnující poznatky a doporučení pro výběr motoru na základě specifických potřeb uživatele.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Pístový motor, ultralehký letoun, vrtule, konstrukce, analýza, Rotax 912 ULS, Zonsen CA500

## **TITLE**

Comparative analysis of Rotax and Zonsen engines in the ultralight aircraft category

## **ANNOTATION**

This bachelor's thesis first focuses on piston aircraft engines and their brief history. It then conducts a comparative analysis of the Rotax and Zonsen piston engines in the category of ultralight aircraft and performance testing. The objective of the thesis is to analyze the technical and design characteristics of both engines and to provide a conclusion summarizing the findings and recommendations for engine selection based on the specific needs of the user.

## **KEYWORDS**

Piston engine, ultralight aircraft, propeller, design, analysis, Rotax 912 ULS, Zongshen CA500

# OBSAH

OBSAH.....	8
SEZNAM ILUSTRACÍ .....	11
SEZNAM TABULEK .....	12
SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK.....	13
SEZNAM SYMBOLŮ .....	13
ÚVOD.....	14
1 LETADLOVÉ PÍSTOVÉ MOTORY.....	15
1.1 Princip činnosti a historie pístového motoru .....	15
1.2 Fáze chodu pístového motoru .....	16
1.3 Konstrukce pístových motorů.....	18
1.3.1 Klikový mechanismus.....	18
1.3.2 Válce a hlavy válců.....	19
1.3.3 Písty .....	20
1.3.4 Ojnice.....	20
1.3.5 Reduktory.....	20
1.3.6 Klikový hřídel a kliková skříň .....	21
1.3.7 Rozvodové mechanismy .....	22
1.3.8 Chladicí soustavy.....	23
1.3.9 Mazací soustavy.....	24
1.3.10 Palivové soustavy .....	25
1.3.11 Zapalovací soustavy .....	25

2	Vrtule.....	26
2.1	Vrtule pevné.....	27
2.2	Vrtule stavitelné.....	27
2.3	Vrtule Woodcomp.....	27
3	Pohonná jednotka společnosti Rotax.....	28
3.1	Založení a vývoj společnosti Rotax.....	28
3.2	Klíčové modely motorů Rotax.....	28
3.3	Rotax 912 ULS.....	29
3.4	Technické parametry motoru Rotax 912 ULS.....	32
3.5	Servisní střediska Rotax v České republice.....	34
4	Pohonné jednotky společnosti Zonsen.....	34
4.1	Založení a vývoj společnosti Zonsen.....	34
4.2	Klíčové modely motorů Zonsen.....	35
4.3	Zonsen CA500.....	36
4.4	Technické parametry motoru.....	39
4.5	Instalace motoru.....	40
4.6	Servisní střediska motorů Zonsen.....	42
5	Analýza letových výkonů motorů Rotax 912 ULS a CA500.....	42
5.1	Letoun s pohonnou jednotkou Rotax 912 ULS.....	43
5.2	Letoun s pohonnou jednotkou CA500.....	44
5.3	Podmínky zkoušek.....	45
5.4	Maximální rychlost stoupání.....	46
5.5	Optimální cestovní rychlost.....	46

5.6	Maximální rychlost v horizontálním letu.....	47
5.7	Porovnání naměřených výkonů s výkony uvedenými v příručkách letounů .....	48
5.8	Vyhodnocení letových zkoušek.....	48
6	Závěr.....	50
7	POUŽITÁ LITERATURA.....	51

## SEZNAM ILUSTRACÍ

- Obrázek 1 – Indikátorový diagram
- Obrázek 2 – Horní pohled Rotax 912 ULS
- Obrázek 3 – Boční pohled Rotax 912 ULS
- Obrázek 4 – Chladicí systém motoru Rotax 912 ULS
- Obrázek 5 – Systém mazání motoru Rotax 912 ULS
- Obrázek 6 – Elektrická instalace motoru Rotax 912 ULS
- Obrázek 7 – Motor 912 ULS
- Obrázek 8 – Pohled z boku a zepředu Zonsen CA500
- Obrázek 9 – Horní pohled Zonsen CA500
- Obrázek 10 – Systém mazání motoru Zonsen CA500
- Obrázek 11 – Chladicí systém motoru Zonsen CA500
- Obrázek 12 – Palivový systém motoru Zonsen CA500
- Obrázek 13 – Motor Zonsen CA500
- Obrázek 14 – Instalace motoru CA500, Direct Fly, Brno
- Obrázek 15 – Instalace motoru CA500, Direct Fly, Brno
- Obrázek 16 – Instalace motoru CA500, Direct Fly, Brno
- Obrázek 17 – Instalace motoru CA500, Skyleader, Jihlava
- Obrázek 18 – Letoun ALTO NG, OK-CUD 77
- Obrázek 19 – Pohledový nákres letounu ALTO NG
- Obrázek 20 – Letoun ALTO NG, OK – DUD 66
- Obrázek 21 – Letiště Cheb, LKCB

## **SEZNAM TABULEK**

- Tabulka 1 – Technické parametry motoru Rotax 912 ULS
- Tabulka 2 – Spotřeba paliva Rotax 912 ULS
- Tabulka 3 – Hmotnost komponentů Rotax 912 ULS
- Tabulka 4 – Technické parametry motoru Zonsen CA500
- Tabulka 5 – Spotřeba paliva Zonsen CA500
- Tabulka 6 – Hmotnost komponentů CA 500
- Tabulka 7 – Rozměry letounu OK-CUD 77
- Tabulka 8 – Rozměry letounu OK-DUD 66
- Tabulka 9 – Vertikální rychlost stoupání – Rotax 912 ULS
- Tabulka 10 – Vertikální rychlost stoupání – Zonsen CA500
- Tabulka 11 – Optimální cestovní rychlost – Rotax 912 ULS
- Tabulka 12 – Optimální cestovní rychlost – Zonsen CA500
- Tabulka 13 – Maximální horizontální rychlost – Rotax 912 ULS
- Tabulka 14 – Maximální horizontální rychlost – Zonsen CA500
- Tabulka 15 – Hodnoty dle provozní příručky Alto NG OK-CUD 77
- Tabulka 16 – Hodnoty dle provozní příručky Alto NG OK-DUD 66

## **SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK**

- CAVOK – příznivé počasí pro letecký provoz
- FAA – státní letecký úřad Spojených států amerických
- OHC – typ ventilového rozvodu
- OHV – typ ventilového rozvodu
- QNH – atmosférický tlak redukovaný na střední hladinu moře podle podmínek mezinárodní standardní atmosféry
- SLZ – sportovní létající zařízení
- TBO – doba mezi generálními opravami
- ULL – ultralehký letoun
- GS – rychlost vůči zemi
- IAS – indikovaná vzdušná rychlost
- LKCB – letiště Cheb

## SEZNAM SYMBOLŮ

- [1 /min] - otáčky za minutu
- [cm<sup>3</sup>] - centimetry krychlové
- [ft] - stopy
- [h] - hodiny
- [kg] - kilogram
- [km/h] – kilometry za hodinu
- [kt] – uzle
- [kW] – kilowatt
- [l /h] - litry za hodinu
- [m] - metr
- [m/s] – metry za sekundu
- [mm] - milimetry
- [MPa] – megapascaly

## ÚVOD

Ultralehká letadla, která spadají pod skupinu sportovních létajících zařízení dnes tvoří významnou kategorii v oblasti letectví. Díky své nižší hmotnosti a často jednodušší konstrukci podléhají jiné certifikaci než letadla letectví všeobecného. Lákají tak nejen amatérské piloty, ale i profesionály jako volnočasovou aktivitu.

Zásadním prvkem těchto sportovních létajících zařízení je pohonná jednotka, která zásadně ovlivňuje výkonnost, spolehlivost a celkové provozní charakteristiky. Vzhledem k široké nabídce motorů na trhu, který se liší svými technickými parametry a pořizovací cenou, je výběr vhodného motoru pro konkrétní typ provozu stále aktuálnějším problémem.

Cílem této bakalářské práce je provést srovnávací analýzu dvou konkrétních pístových motorů. Rakouského motoru Rotax 912 ULS, který je hojně využíván v ultralehkých letadlech po celém světě a jeho novým soupeřem na trhu čínského motoru Zonsen CA500.

Důvodem výběru tohoto tématu je osobní zkušenost autorky s oběma analyzovanými motory. V rámci praktického výcviku i běžného létání měla možnost pilotovat ultralehká letadla vybavená motorem Zonsen CA500, tak i Rotax 912 ULS. V první části práce je rešerše zaměřená na funkci, řešení pístových letadlových motorů a jejich rozdělení. Následuje popis společností Rotax a Zonsen a popsání technických parametrů a funkcí systémů obou nejvyužívanějších motorů.

Další část práce je věnována výkonnostním zkouškám, které byly provedeny za účelem objektivního porovnání skutečných výkonů v provozu. Na základě těchto informací je v závěru s přihlédnutím k provozním požadavkům různých skupin uživatelů, formulováno doporučení pro volbu konkrétního motoru s ohledem na individuální potřeby pilotů a provozovatelů ultralehkých letadel.

# 1 LETADLOVÉ PÍSTOVÉ MOTORY

## 1.1 Princip činnosti a historie pístového motoru

Pístový spalovací motor je zařízení, které přetváří chemickou energii obsaženou v palivu na užitečnou mechanickou práci potřebnou k pohonu vrtule. Tento proces je umožněn spalováním paliva v prostoru motoru, kde se uvolňuje teplo, které se následně mění na mechanickou práci. V pístovém spalovacím motoru tedy probíhá řetězec transformace chemické energie paliva na teplo, a to přímo v pracovním prostoru uvnitř motoru, proto jsou tyto motory často označovány jako motory s vnitřním spalováním, nebo také spalovací motory.

Uvolněné teplo je dále v motoru přetvářeno na užitečnou mechanickou práci, která je vyváděna výstupním hřídelem. Pístový motor je tedy tepelným motorem, jehož činnost je spojena s mechanickou prací a také spalinami, které vznikají spálením paliva v kombinaci se vzduchem. Transformace tepla na mechanickou práci musí probíhat pouze ve stlačitelných tekutinách, tedy v plynech. Plyn vykonává mechanickou práci pouze tehdy, je-li zvětšován jeho objem, tedy expanduje. Pokud je plyn dokonale izolován, vykonává při expanzi užitečnou práci na úkor své tlakové a vnitřní tepelné energie.

Po takové adiabatické expanzi dojde k poklesu tlaku a teploty plynu a zvětšení jeho objemu. Naopak při stlačování plynu, který je tepelně izolován, dochází k nárůstu tlaku i teploty a mechanická práce dodána při stlačení plynu se transformuje na jeho tlakovou a vnitřní tepelnou energii.

Pokud se do stlačeného plynu přivede teplo, projeví se v souladu se zákonem o zachování energie zvýšení jeho celkové energie. Když umožníme plynu současně expandovat na nižší tlak, expandující plyn při zvětšení svého objemu vykonává absolutní mechanickou práci odváděnou ven z plynu, přičemž se při této změně tepelného stavu plynu jeho vnitřní tepelná a tlaková energie mění v užitečnou práci.

Vývoj leteckých pístových motorů sahá až do 18. století, kdy rozvoj letectví zahrnoval integraci různých lidských aktivit, což vedlo od základního napodobování přírody až po integraci do vzdáleného vesmíru. Hlavním faktorem v tomto procesu byl vývoj právě pohonných jednotek. Prvenství v řízeném letu si připsal Henri Giffard, který v roce 1852 uskutečnil let s parním strojem o výkonu 2,2 kW a hmotnosti přibližně 150 kilogramů.

Na konci 19. století došlo k dynamickému rozvoji pístových motorů, což otevřelo nové perspektivy pro pohonné jednotky a vrtule. Historie pokusů o řešení problematiky letu letadla těžšího než vzduch obsahuje mnoho jmen. Mezi nimi vyniká například Clément Ader, jenž vyvinul několik letadel s netopýřími křídly, poháněnými parním motorem s vrtulí, z nichž některá údajně vzlétla.

První skutečný motorový let letadla těžšího než vzduch uskutečnil Wilbur a Orvill Wrightovi v roce 1903 ve Spojených státech Amerických s letadlem Flyer I., poháněným spalovacím motorem o výkonu 8,8 kW a hmotností přibližně 100 kilogramů.

Další vývoj se ubíral dvěma hlavními směry, na jedné straně se objevily vzduchem chlazené motory jako například motor Anzani, který umožnil Blériotovi v roce 1909 přeletět Lamanšský kanál, na druhé straně motory chlazené kapalinou. V letech před první světovou válkou bylo vyvinuto mnoho pístových motorů s různým uspořádáním válců, což vedlo k nárůstu výkonů a spolehlivosti motorů. Hmotnost motorů na jednotku výkonu se tak postupně snižovala. Vznikly také hvězdicové motory s pevnými válci, které byly chlazené vodou.

Zásadní význam pro další vývoj měl vodou chlazený motor společnosti Hispano Suiza, navržený jako osmiválec s válci uspořádanými do "V" a využitím lehkých kovů. Tento motor byl vyráběn také v Československé republice a používán v našich letadlech. Mezi světovými válkami se vyvinuly hvězdicové motory se vzduchovým chlazením a pevnými válci. Motory této konstrukce, které byly lehké a spolehlivé, umožnily poměrně rychlý vývoj civilní letecké dopravy. V tomto období se objevily nové prvky v konstrukci. Zavedly se výškové motory s odstředivým kompresorem a zvyšování otáček si vynutilo zavedení reduktorů. Začínaly se také používat stavitelné vrtule. Během druhé světové války a po jejím konci se dále zvyšovaly výkony motorů, a to jak vodou, tak vzduchem chlazených.

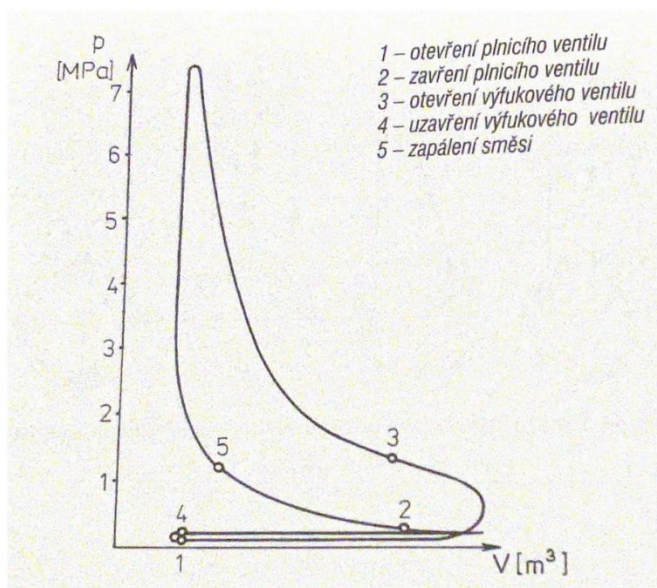
## 1.2 Fáze chodu pístového motoru

První fází pístového motoru je nasávání, kdy se otevře sací ventil a píst se pohybuje dolů ve válci. Tento pohyb vytváří podtlak, který nasává směs vzduchu a paliva do válce. Je důležité, aby směs nebyla příliš bohatá nebo příliš chudá, protože ovlivňuje výkon a efektivitu motoru. Po naplnění válce směsí přichází na řadu fáze komprese. Píst se pohybuje nahoru, což uzavírá sací ventil a stlačuje směs uvnitř válce. Tím se zvyšuje tlak a teplota směsi, což je hlavním faktorem pro následné spalování

Jakmile píst dosáhne horní úvrati, nastává fáze expanze. V této fázi zapalovací svíčka vyvolá jiskru, která zapálí stlačenou směs. Spalování vytváří vysoký tlak, který tlačí píst dolů. Tento pohyb generuje mechanickou energii, která je přenášena na klikový hřídel. Poslední fází je výfuk, kdy se píst opět pohybuje nahoru a otevírá výfukový ventil. Píst vytlačuje spálené plyny ven z válce, čímž se připravuje na nový cyklus.

Skutečné, nebo-li porovnávací pracovní oběhy se ale liší od teoretických. Rozlišuje se především nestejným průběhem pracovních pochodů, z nichž se teoretické a skutečné pracovní oběhy skládají. U skutečných oběhů dochází k výměně pracovní náplně. Průběh komprese a expanze není

adiabatický a dochází k přestupu tepla mezi stěnou a náplní. Spalování se odchyluje od izochory. Otvírání a zavírání výfukového ventilu má vliv na tlak ve válci. Indikátorový diagram (obrázek 1) vykazuje zaoblené přechody mezi jednotlivými částmi oběhu. Během cyklu dochází k tepelným a hydraulickým ztrátám. Také se rozlišují rozdílnými vlastnostmi pracovní látky. U porovnávacích oběhů se vychází z předpokladu, že pracovní látkou je ideální plyn. Ve skutečnosti však pracovní směs vykazuje odlišné termofyzikální vlastnosti a během spalování dochází ke složitým změnám.



Obrázek 1 Indikátorový diagram, zdroj: [1]

### 1.3 Konstrukce pístových motorů

Konstrukce pístových motorů zahrnuje několik hlavních komponentů, které společně zajišťují efektivní provoz motoru. Základními částmi jsou válec, píst, klikový hřídel a hlava válce. Válce jsou obvykle vyrobeny z litiny nebo hliníku, což zajišťuje potřebnou pevnost a odolnost vůči vysokým teplotám a tlakům. Píst se pohybuje uvnitř válce a jeho pohyb je přenášen na klikový hřídel, který převádí lineární pohyb na rotační. Hlava válce obsahuje ventily, které regulují přívod vzduchu do válce a odvod spalin

Dalším důležitým aspektem konstrukce pístových motorů je systém chlazení a mazání. Chlazení je nezbytné pro udržení optimální teploty motoru a zabraňuje jeho přehřátí. Mazací systém zajišťuje, že všechny pohyblivé části motoru jsou dostatečně promazány, což snižuje tření a opotřebení. Kromě toho je důležité zaměřit se na optimalizaci spalovacího procesu, což zahrnuje správné nastavení poměru vzduchu a paliva

#### 1.3.1 Klikový mechanismus

Klikový mechanismus pístového spalovacího motoru se skládá z pístu, čepu, ojnice a klikového hřídele. Jeho úkolem je převádět přímý pohyb pístu na rotační pohyb klikového hřídele. Klikový mechanismus je pro funkci motoru zásadní, protože umožňuje využití síly vznikající při spalování paliva. Díky své konstrukci dokáže přenášet vysoké zatížení a zároveň zajišťuje hladký chod motoru.

### 1.3.2 Válce a hlavy válců

Válce jsou zásadní součástí motorů, které mohou být konstruovány buď jako blok se společným pláštěm a hlavou, což je typické pro motory chlazené kapalinou, nebo jako jednotlivé válce připevněné na klikové skříně, což se používá u motorů chlazených vzduchem. Jejich hlavním úkolem je zajistit těsný spalovací prostor, umožnit pohyb pístu a efektivně odvádět teplo vznikající během provozu motoru.

Mechanické namáhání válce je způsobeno přetlakem plynů a také silami, které vznikají při pohybu klikového mechanismu. Tepelné namáhání válce je důsledkem přestupu sání tepla z horkých spalin. Určité teplo také vzniká třením pístních kroužků. Teplota na různých místech válce se liší podle rozdílu tepla přivedeného a odvedeného. Největší teplotní rozdíly se objevují mezi výfukovým a sacím ventilem. Konstrukce válce a hlav určuje způsob chlazení, které může být realizováno buď vzduchem nebo kapalinou. V současnosti se v letadlových motorech často používá chlazení vzduchem, přičemž teplosměnnou plochu tvoří chladící žebra.

Válec je na horním konci uzavřen hlavou, která určuje tvar spalovacího prostoru. Uložení spalovacího prostoru ovlivňuje, jak efektivně se válec plní, jak se přenáší teplo do stěn a jak je náchylný k detonacím. V hlavě válce jsou umístěny spalovací svíčky. Kromě toho mohou být v hlavě válce instalovány vstříkovací trysky pro motory s vysokým vstříkáváním a spouštěcí ventily, které slouží k přívodu stlačeného vzduchu.

Válce chlazené vzduchem se ke klikové skříně připojují dvěma způsoby. Prvním způsobem je přitažení válce ke klikové skříně společně s hlavou pomocí dlouhých průběžných šroubů, přičemž mezi válec a hlavu se vkládá metaloplastické nebo měděné těsnění. Druhým způsobem je přitažení válce ke klikové skříně krátkými závrtnými šrouby za spodní přírubu, přičemž hlava je k válci připevněna obdobně jako v případě prvním, nebo může být na válec našroubována.

Bloky válců se ke klikové skříně připevňují buď dlouhými závrtnými svorníky, nebo krátkými závrtnými šrouby. Válce vzduchem chlazených motorů se vrábějí z nitridační oceli, přičemž po vysoustružení chladících žebor a tepelném zpracování se vnitřní povrch nitriduje, brousí a honuje. V některých případech se na ocelovou vložku odlévají žebra z lehkých slitin. Hlavy válců se odlévají z lehkých kovů, ale mohou být také vyráběny z výkovků, což je pevnější, avšak nákladnější varianta. Bloky motorů chlazených kapalinou se odlévají z lehkých slitin a tepelně se zpracovávají. Vložky válců jsou ocelové, zatímco spojovací šrouby a svorníky jsou z kvalitních legovaných ocelí. Vedení ventilů a závitová pouzdra pro svíčky a trysky jsou bronzová, a ventilová sedla z legovaných ocelí.

### 1.3.3 Písty

Píst přenáší sílu, kterou vyvolá tlak pracovní látky na delší části klikového mechanismu. Zároveň zabraňuje unikání plynů z válce do klikové skříně a brání pronikání oleje z klikové skříně do spalovacího prostoru. Úplný píst se skládá z pístu samotného, pístních kroužků, pístního čepu a jeho pojistek. Musí být pevný, tuhý, lehký, dobře odvádět teplo a také mít nízkou míru opotřebení. Na píst působí síla vyvolaná tlakem plynů a setrvační síly. Při provozu se značně zahřívá a jeho ochlazování přes stěnu válce je ztíženo olejovým filtrem.

Horní část pístu je robustnější a přenáší sílu od tlaku plynu na pístní čep, který je uložen v okách pístu. Vzhledem k rozdílným teplotám v jednotlivých částech je píst často tvarován mírně kuželovitě. Horní část se zahřívá nejvíce, což znamená, že má větší vůli ve válci než na spodním okraji. Tvar pístu je navržen tak, aby efektivně odváděl teplo ze dna pístu do kroužků a stěny válce. Spodní část pístu je tenkostěnná, funguje jako vedení ve válci a přenáší normálovou sílu.

Pístní čep, který spojuje píst s ojnící je obvykle uložen tak, aby se mohl volně otáčet v okách pístu a ojnice, přičemž jeho axiálnímu pohybu brání čochky z měkkého kovu nebo pružné pojistné kroužky umístěné v drážkách.

### 1.3.4 Ojnice

Ojnice je součást motoru, která spojuje klikový hřídel s pístem a přenáší tak na hřídel všechny síly působící na píst. Tato součást je namáhána střídavě tahovými a tlakovými silami. Ojnice se skládá z ojnicí hlavy, jež se spojuje s klikovým hřídelem. Konstrukce ojnic se liší podle celkové koncepce motoru, což ovlivňuje její pevnost a efektivitu.

Ojnice se vyrábí z legovaných ocelí nebo hliníkových slitin pomocí kování v zápustce. Plynulé přechody do hlavy a oka jsou podstatné pro zajištění pevnosti a odolnosti. Pečlivé leštění povrchu pomáhá předcházet vzniku únavových trhlin a lomů v místech, kde se nacházejí vruby a ryky. Tato opatření jsou důležitá pro zajištění dlouhé životnosti ojnic a spolehlivého fungování motoru.

### 1.3.5 Reduktory

Vrtulové reduktory mají funkci optimalizaci otáček vrtule v porovnání s otáčkami klikového hřídele. Snížením otáček vrtule se zvyšuje její efektivita a má možnost dosahovat vyšších výkonů při nižších otáčkách. Použití reduktoru také umožňuje zvětšit vzdálenost osy vrtule od země. Na druhou stranu je důležité zohlednit i nevýhody použití reduktorů, jako je zvýšení hmotnosti motoru, složitější konstrukce a mechanické ztráty v ozubeném převodu a ložiskách.

Reduktory se klasifikují do dvou hlavních typů. Těmi jsou souosé a nesouosé reduktory. Nesouosé reduktory se vyznačují tím, že osa vrtulového není v souhlasné poloze s osou klikového hřídele, ale je s ní rovnoběžná. Tyto reduktory se obvykle skládají ze dvou čelních kol, který mohou mít buď rovné nebo šípové zuby. Hřídele reduktorů jsou umístěny v kluzných nebo valivých ložiskách, přičemž jedno z ložisek, obvykle valivé radiální ložisko, přenáší axiální síly.

Souosé reduktory jsou reduktory, u kterých osa vrtulového hřídele je prodloužením osy klikového hřídele. Používají se planetové převody s nejčastěji kuželovými koly. Hnací kolo, které je pevně spojeno s klikovým hřídelem, má počet zubů  $z_1$ . Kolo s počtem zubů  $z_3$  je trvale uchyceno na klikové skříně. Planetové kolo má počet zubů  $z_2$  a otáčí se kolem čepu spojeného s vrtulí a posouvá se po ozubení obou kol. Vrtulový hřídel se otáčí směrem klikového hřídele. Pro tento převod platí tedy vztah:

$$\frac{n_v}{n} = z_1 + z_3^1$$

V případě, že není k dispozici reduktor s ozubenými koly a nelze použít přímý pohon vrtule, volí se řemenové reduktory. U těchto řemenových převodů, které využívají klínové řemeny, se síla přenáší díky tření řemene o kotouč. Systém řemenového převodu se skládá z hnací řemenice, která je napojená na motorový hřídel, a hnané řemenice, která je spojena s vrtulí. Dále pak řemen případně obsahuje napínací kladku. Důležité je, aby byl řemen vždy napnutý. Mezi výhody tohoto typu převodu patří pružný přenos sil, tlumení vibrací a tichý provoz.

### 1.3.6 Klikový hřídel a kliková skřín

Klikový hřídel se skládá z klikových čepů, hlavních čepů, ramen klik, předního a zadního konce. Na předním konci je připojena vrtule nebo ozubená kola nebo příruby pro pohon soustav. Klikový hřídel může být buď dělený nebo nedělený. Hlavní čepy jsou uloženy v kluzných nebo valivých ložiskách podle typu klikového hřídele. Valivá ložiska mají nižší nároky na mazání, umožňují vyšší zatížení, snižují tření a zkracují délku hřídele. Na druhou stranu ale mají větší hmotnost a složitější montáž. Hlavní a klikové čepy jsou vyvrtány a dutiny, které vznikají, jsou uzavřeny zátkami a propojeny vratnými otvory v ramenech. Tento systém vytváří mazací kanál, který zajišťuje přívod oleje ke třecím plochám.

---

<sup>1</sup> Zdroj: [1]

Klikový hřídel přenáší energii generovanou ve válcích motoru na vrtuli. Během nepracovních zdvihů se část této energie vrací, zatímco jiná část se využívá k pohonu motorových systémů. Na hřídel působí tangenciální a normálové síly, odstředivé síly klik a případně protizávaží, stejně jako reakční síly od ložisek a síly od vrtule, pokud není přítomen reduktor.

Dále se na hřídel vyvíjí zatížení od pohonů soustav. Velikost kroutícího momentu se v čase mění, což vyvolává periodické torzní kmity v soustavě zahrnující hřídel, klikový mechanismus a další komponenty spojené s hřídelem. Klikové hřídele jsou konstruovány z legovaných ocelí, které obsahují přísady jako chrom, nikl, vanad a molybden. Tyto hřídele jsou staticky i dynamicky vyvažovány, přičemž správná poloha těžiště klik je klíčová pro jejich plynulé otáčení.

Tuhý základ pro uchycení válců motoru, uložení klikového hřídele a případně reduktoru tvoří kliková skříň. Kliková skříň také slouží k umístění rozvodu, skříň pohonu, soustav motoru a dmyhadla. Kliková skříň obsahuje kanály pro distribuci tlakového oleje. Tato skříň přenáší sílu vrtule a setrvační síly klikového mechanismu na konstrukci letadla prostřednictvím patek, které jsou připevněny k motorové loži. Pro usnadnění montáže klikového mechanismu jsou klikové skříně složeny z několika částí spojených závrtnými šrouby nebo svorníky. Nosná část klikové skříně se skládá z bočních stěn, ploch pro upevnění válců a příčných přepážek, v nichž jsou umístěna hlavní ložiska.

Klikové skříně můžeme dále rozdělit na suché a mokré, podle způsobu zajištění mazání. U mokré klikové skříně je olej uložen přímo v klikové skříni. Naopak suchá kliková skříň má oddělenou nádrž na olej, který je čerpán do motoru podle potřeby. Tento systém snižuje hmotnost motoru a umožňuje lepší kontrolu nad množstvím oleje, vyžaduje ale častější údržbu.

### 1.3.7 Rozvodové mechanismy

Rozvod je mechanismus, který reguluje výměnu směsi vzduchu a paliva ve válci motoru. Mechanické rozvody lze klasifikovat na ventilové a šoupátkové, kanálové a smíšené. Kanálové a smíšené rozvody se obvykle aplikují u dvoudobých motorů. V případě šoupátkových rozvodů je výměna náplně řízena šoupátkem. Přestože šoupátkové rozvody nabízejí vyšší objemovou činnost a umožňují použití vyššího kompresního poměru pro stejný typ paliva, jejich složitost výroby vedla k jejich omezenému rozšíření.

Ventilové rozvody řídí proces plnění výfuku prostřednictvím otevírání a zavírání ventilů. Existují dva způsoby ovládání ventilů pomocí vačkového hřídele. První způsob zahrnuje umístění vačkového hřídele ve skříni motoru, kde jsou ventily ovládány pomocí zdvihátek, tyček a vahadel. Tento typ se nazývá OHV (*Overhead Valve*). Ve druhém případě je vačkový hřídel uložen v hlavě válce a ovládá ventily přímo nebo pomocí vahadel. Takový rozvod se označuje OHC (*Overhead*

*Camshaft*).

### 1.3.8 Chladicí soustavy

Správné řízení teploty motoru zajišťuje bezpečný chod všech součástí v motoru. V průběhu pracovního cyklu se jednotlivé součástky zahřívají, což může vést k různým poruchám, pokud není teplo adekvátně regulováno. Chladicí systém musí udržovat teploty v přijatelných mezích, aby se předešlo ztrátě mechanické pevnosti materiálu, tepelným deformacím a dalším vážným problémům, jako je zadření pístních kroužků či praskání hlav válců. Naopak, přechlazení může snižovat výkon motoru a zhoršovat mazání kvůli zvýšené viskozitě oleje. Je důležité najít rovnováhu mezi těmito extrémny pro optimální běh motoru.

V současné době je většina leteckých motorů chlazená vzduchem. Tento systém umožňuje přímý přenos tepla do vzduchu, který obklopuje motor. Odvedené teplo je přímo úměrné teplosměnné ploše, proto jsou válec a hlava vybaveny chladicími žebry pro zvýšení jejich efektivity. Parametry jako výška a hustota žebrování jsou určeny požadavky na vysokou účinnost chlazení technologickými normami.

Teploty vzduchem chlazených motorů jsou obvykle monitorovány na svíčke nejteplejšího válce, kde je umístěno číslo teploměru. Pro posouzení tepelného stavu motoru jsou důležité teploty oleje na vstupu a výstupu, které výrobce uvádí společně s teplotou pod svíčkou. Množství tepla odváděného z válce je také závislé na množství chladicího vzduchu připadajícího na jeden válec a na jeho správném směrování k chlazeným oblastem.

Kapalinové chlazení se využívalo u motorů s vysokým výkonem. Teplo, které chladicí kapalina odvádí z motoru, se v chladiči předává do okolního vzduchu. Zařazení chladiče do systému zvyšuje čelní odpor. Množství tepla, které chladič odvádí, závisí na jeho ploše a na teplotním rozdílu mezi kapalinou a chladícím vzduchem. Aby se snížila teplosměnná plocha a tím i čelní odpor chladiče, zvyšuje se teplota kapaliny, což zvyšuje rozdíl teploty mezi kapalinou a vzduchem. To je možné v uzavřených chladicích soustavách, kde se pomocí ventilu udržuje vyšší tlak než barometrický. Vyšší tlak znamená vyšší teplotu varu kapaliny, což umožňuje zvýšení teploty chladicí kapaliny bez rizika jejího varu.

Teplota kapaliny určuje tepelný stav a reaguje se změnou polohy klapky chladiče, která ovlivňuje množství chladicího vzduchu. V těchto chladicích systémech se nejčastěji používá voda.

### 1.3.9 Mazací soustavy

Účelem mazací soustavy je zajištění dodávky adekvátního množství mazacího oleje, který splňuje specifické požadavky na čistotu, viskozitu, tlak a teplotu. Olej, který je distribuován touto soustavou, funguje jako hydraulická kapalina v motorovém a vrtulovém systému, maže třecí plochy, reguluje teplotu palivového systému a chrání vnitřní komponenty motoru před korozi.

Pístové letadlové motory většinou využívají tlakovou mazací soustavu se suchou klikovou skříní. Mazací soustava se skládá z vnitřní soustavy, umístěné uvnitř nebo na motoru, a vnější soustavy. Vnější soustava spojuje potrubí, které přivádí olej z nádrže k olejovému čerpadlu motoru, a potrubí, které vrací olej zpět do nádrže.

Do jednotlivých částí soustavy patří chladič oleje, odlučovač vzduchu a plynu, olejová nádrž, čističe a kohouty. V olejovém chladiči se teplo, které bylo absorbováno olejem, předává vzduchem. Průtok oleje chladičem je regulován obtokovými ventily, které chrání chladič před poškozením způsobeným zvýšeným tlakem při průtoku studeného oleje. Tyto ventily usměrňují tok oleje z motoru do ohřívacího pláště kolem chladiče. U menších motorů je často dostatečné chlazení motorové skříně a olejové nádrže, a tak chladiče nejsou nezbytnými.

Odlučovač vzduchu a plynu zajišťuje shromažďování těžšího oleje na obvodě a jeho odvod zpět do soustavy. Čističe oleje efektivně odstraňují částičky kovu, karbonu a dalších nečistot. Podle specifické aplikace se používají různé typy čističů, příkladem mohou být čističe sítkové, šterbinové, papírové, odstředivé nebo magnetické. Kohouty, které se obvykle používají v těchto systémech, jsou obvykle kuželové, zatímco ventily mohou mít jiné konstrukce, včetně kuličkových nebo talířkových, což ovlivňuje jejich funkčnost a účinnost při regulaci průtoku oleje.

Nejdůležitějším komponentem vnitřní mazací soustavy jsou olejová čerpadla. Tlaková čerpadla zajišťují dopravu oleje z nádrže do motoru, zatímco odsávací čerpadla se starají o distribuci oleje ze sběračů zpět do nádrže. Je důležité, aby odsávací čerpadla dokázala účinně přepravovat zpevněný olej, jehož objem může být dvakrát až třikrát větší. Konstrukce čerpadel, která se skládá ze dvou kol, hnacího poháněného od motoru a druhého, který se otáčí volně na čepu v tělese čerpadla. Tlak oleje závisí na počtu otáček, viskozitě oleje a velikosti výtokových průřezů, což ovlivňuje celkovou funkčnost mazání motoru.

Ve spalovacím prostoru a dalších místech motoru může vysoká teplota způsobit rozklad oleje, což vede k tvorbě karbonových úsad. Různé oleje se liší ve svém sklonu k tvorbě karbonu, a proto je zásadní vybrat vhodný olej pro konkrétní motor. Při výběru oleje je třeba brát v úvahu mimo jiné jeho hustotu, bod vzplanutí a obsah nečistot a vody, aby se minimalizovalo riziko vzniku škodlivých usazenin.

### 1.3.10. Palivové soustavy

Palivová soustava zajišťuje dodávku paliva motoru v souladu s aktuálními pracovními podmínkami. Je nezbytné, aby poměr paliva a vzduchu byl optimální a aby se množství dodaného paliva přizpůsobovalo změnám pracovních podmínek motoru. Palivo musí být do válce dodáváno v rozprášené formě, což umožňuje jeho dokonalé odpaření na konci kompresního zdvihu a vytvoření homogenní směsi ve spalovacím prostoru. Složení směsi by mělo být konstantní v průběhu jednoho cyklu pro všechny válce motoru.

Palivová soustava musí rovněž zajišťovat správné dávkování paliva za všech letových podmínek a poskytovat adekvátní akceleraci. Kromě toho by také měla být lehká, výrobně jednoduchá, spolehlivá a snadno ovladatelná. Palivovou soustavu lze rozdělit na vnější, umístěnou v draku letadla a vnitřní část umístěnou na motoru.

Palivové soustavy mohou být také rozděleny podle metody dodávání paliva do spalovacího prostoru na soustavy s karburátorem a soustavy se vstřikováním. U motorů s karburátorem se palivo mísí se vzduchem v karburátoru, kde je vytvářena směs, která je následně nasávána do válce motoru. Tento systém je jednoduchý a levný, ale může mít problémy s přesností míchání paliva a vzduchu, což ovlivňuje výkon a spotřebu. Je také náchylnější na námrazu. Na druhé straně motory vybavené vstřikováním používají vstřikovací trysky k přímému dodání paliva do spalovacího prostoru, což umožňuje přesnější kontrolu nad poměrem paliva a vzduchu. Tento systém zajišťuje lepší spalování, nižší emise, ale je složitější a nákladnější na výrobu a údržbu.

### 1.3.11. Zapalovací soustavy

Zapalovací systém je hlavní součástí procesu zapálení stlačené směsi paliva a vzduchu v každém válci motoru. Zapálení se uskutečňuje elektrickým výbojem, který se přenáší přes vzduchovou mezeru mezi elektrodami zapalovací svíčky, na kterou je dodáván vysokonapěťový proud. Vysoké kompresní tlaky mohou zapalování ztížit. Aby se zvýšila spolehlivost zapálení a zlepšil se spalovací proces, tak se v leteckých motorech často využívají dvě nezávislé zapalovací soustavy.

Zapalovací systémy pístových motorů lze rozdělit na vysokonapěťové, vysokofrekvenční a bzučákové. Základem těchto systémů je indukční cívka, která má dvě vzájemně izolovaná vinutí. U vysokonapěťového zapalování prochází elektrický proud primárním vinutím, což vytváří magnetický tok v jádru cívky. Při oddálení kontaktů přerušovače vačkou dojde k přerušení proudu, což způsobí změnu magnetického toku v cívce. Tím se v sekundárním vinutí indukují vysokonapěťový proud, který je následně veden do rozdělovače a k zapalovacím svíčkám, kde vzniká jiskra.

Při zapalování bzučákem je primární okruh z baterie napájen přes bzučák a spínač, což umožňuje vznik nepřetržité série výbojů na elektrodách svíček. Vysokofrekvenční zapalování pak využívá nižšího napětí v sekundárním okruhu, což vede k menšímu opalování elektrod svíčky. Zapalovací svíčky se skládají ze střední elektrody, pláště a izolátoru, přičemž mohou být rozebíratelné nebo nerozebíratelné.

## 2 Vrtule

Vrtule je lopatkový stroj, který je obvykle tvořen minimálně dvěma listy umístěnými v náboji, jímž je vrtule spojena s výstupním hřídelem motoru. Náboj může také zahrnovat systémy pro změnu úhlu listů, případně také jejich odmrazování. Z pohledu uspořádání pohonné jednotky rozlišujeme vrtule tažné, které jsou umístěny vpředu motoru, a tlačné, které se nacházejí za ním. Vrtule se dále třídí podle směru otáčení při pohledu pilota z letadla na pravotočivé, či levotočivé. Při výrobě vrtulí se využívají téměř všechny materiály běžně používané v letectví. Tradičně se tak k výrobě používá vrstvené dřevo, avšak s rostoucími výkony motorů a složitějšími konstrukcemi se čím dál více uplatňují lehké slitiny. V současnosti se značná část moderních vrtulí vyrábí z kompozitních materiálů.

Při otáčení vrtule dochází k interakci jejích listů s prouděním vzduchu, což vede ke vzniku aerodynamického vztlaku a odporu, analogicky jako u letadel. Tyto aerodynamické síly se kombinují a tvoří celkovou aerodynamickou sílu působící na vrtuli. Složka této síly, orientovaná rovnoběžně s osou otáčení vrtule, odpovídá tahu generovanému vrtulí, zatímco složka v rovině otáčení představuje aerodynamický odpor. Celkový točivý moment odporu, působící na vrtuli, je dán součtem momentů odporových sil na jednotlivých průřezech listů a je orientován vůči hnacímu momentu, který je generován zdrojem mechanické energie.

Pohyb vrtule se skládá z rotace kolem své osy a dopředného pohybu ve směru letu, čímž vytváří pohyb šroubovice. Vzdálenost, kterou vrtule urazí během jedné otáčky, se označuje jako geometrické stoupání, které závisí na úhlu nastavení, tedy úhlu vrtule a rovinou otáčení. S rostoucí vzdáleností od osy vrtule se zvyšuje obvodová rychlost listu, což vede k variacím v příčném profilu a úhlu nastavení podél délky listu. Tyto úpravy zajišťují optimální polohu profilu vůči přicházejícímu proudu vzduchu – úhel náběhu. Idealizovaná konfigurace nastává, pokud je dosaženo shody mezi rychlostí letadla a otáčky motoru shodují s geometrickými charakteristikami vrtule. Vrtule pak dosahuje maximální účinnosti. Jestliže dojde ke změně úhlu náběhu během letu, účinnost vrtule se snižuje. V určitých situacích se vrtule může chovat jako aerodynamická brzda, vykazovat záporný tah a může dokonce přejít do turbínového režimu, kdy pohání motor.

## 2.1 Vrtule pevné

V současnosti se tyto konstrukce uplatňují převážně na malých letounech, kde jejich provozní výkony stále vyhovují potřebám. Při výběru vrtule pro konkrétní letadlo je nezbytné zohlednit jeho rychlostní profily a charakteristiky motoru. Konstrukční design těchto vrtulí se vyznačuje svou jednoduchostí, jelikož neobsahuje žádná dodatečná zařízení. Vrtule se skládá pouze z listů a náboje, přičemž u dřevěných vrtulí jsou tyto součásti často spojeny do jednoho celku, jenž je doplněn aerodynamickým krytem náboje, známým jako vrtulový kužel. Tento kryt zlepšuje aerodynamické vlastnosti a snižuje odpor vzduchu.

## 2.2 Vrtule stavitelné

Vrtule dosahuje optimálního výkonu v úzkém rozsahu parametrů, které byly stanoveny při jejím sestavování, bylo by tedy ideální navrhnout specifickou vrtuli pro každý typ letadla. Nicméně maximální účinnost takové vrtule by byla omezena na jednu rychlost letu. Pro odlišné rychlosti by pak bylo potřebné používat vrtule s různými úhly nastavení. Vrtule stavitelná nám tedy umožňuje změnu úhlu nastavení za letu. Kdy požadujeme menší úhel nastavení na vzlet a na přistání, naopak větší úhel nastavení při letu v horizontu. Tento úhel může upravovat buď pilot, nebo může být regulován automaticky pomocí odstředivého regulátoru. Výjimku tvoří samostavitelné mechanické vrtule, kde se aerodynamické síly působící na listy vyrovnávají s odstředivými silami generovanými vyrovnávacími závažími. V ostatních případech je za přestavování lisů zodpovědný elektrický nebo hydraulický servomotor, který vyžaduje, aby motor zajišťoval přístup k odpovídajícímu zdroji elektrické energie nebo tlakového oleje. Konstrukčně jednoduššími, avšak jsou vrtule stavitelné na zemi, což znamená, že úhel nelze změnit během letu.

## 2.3 Vrtule Woodcomp

Společnost Woodcomp je renomovaným výrobcem vrtulí, který se zaměřuje na vývoj a produkci vrtulí zejména pro ultralehká a sportovní letadla. Sídlí v České republice a je známá svými inovativními technologiemi. Hlavním materiálem, který Woodcomp využívá, je kombinace dřevěných a kompozitních materiálů. Dřevěné vrtule se tradičně používají díky své nízké hmotnosti, což přispívá k lepší aerodynamice letu. Na druhou stranu kompozitní materiály, jako jsou sklolamináty a uhlíková vlákna, zajišťují vyšší pevnost a odolnost vůči únavě materiálu a opotřebení.

## 3 Pohonná jednotka společnosti Rotax

### 3.1 Založení a vývoj společnosti Rotax

Společnost Rotax byla založena v roce 1920 v Rakousku a původně se zaměřovala na výrobu motorů pro motocykly. V průběhu let prošla výrazným vývojem, který ji posunul na vrchol výrobního sektoru leteckých motorů. Po úspěšném vstupu do oblasti motocyklů a závodních motorů ve 20. století se firma začala orientovat na výrobu motorů pro ultralehká a sportovní letadla, což ji umožnilo expandovat na mezinárodní trh. V 90. letech minulého století se Rotax proslavil svými čtyřtaktními motory, které byly navrženy s důrazem na výkon, efektivitu a nízké emise, což odpovídalo rostoucím požadavkům na ekologičtější leteckou dopravu.

Rotax se stal součástí skupiny Bombardier Recreational Products a pokračuje v inovacích a výzkumu v oblasti leteckých motorů. Společnost se zaměřuje na vývoj moderních technologií, které zajišťují vyšší výkon a spolehlivost motorů a zároveň dbá na dodržování legislativních požadavků.

Dnes Rotax vyrábí širokou škálu motorů, které jsou využívány jak v ultralehkém letectví, tak i v letadlech skupiny všeobecného letectví. Motor Rotax 912 a 915 jsou známé svou spolehlivostí, dostupností údržby a efektivitou, což je činí oblíbenou volbou mezi provozovateli, výrobcí a piloty po celém světě. Rotax také investuje do nových technologií, jako jsou elektrické řídicí systémy a pokročilé palivové systémy, které umožňují sportovním letadlům dosahovat vyšší výkonnosti.

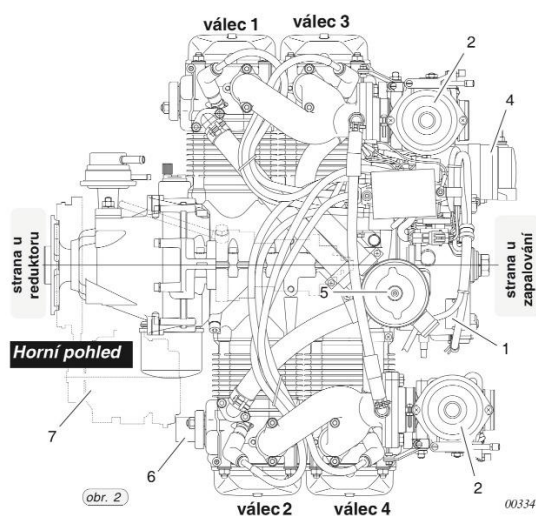
### 3.2 Klíčové modely motorů Rotax

Mezi klíčové modely motorů Rotax patří především Rotax 912, který se stal jedním z nejrozšířenějších motorů v ultralehkém letectví. Tento motor je k dispozici v několika variantách, včetně 912 ULS a 912 iS, které nabízejí výkon od 80 do 100 koní. Rotax 912 se vyznačuje čtyřtaktní konstrukcí, což zajišťuje vysokou účinnost a nízkou spotřebu paliva. Díky své hmotnosti a kompaktním rozměrům je ideální volbou pro ultralehká letadla. Motor také podporuje vysokou škálu paliv, což z něj činí flexibilní volbu pro provozovatele.

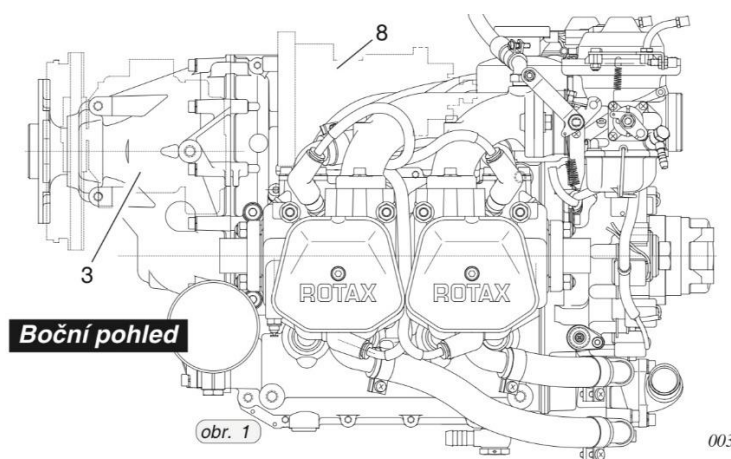
Dalším zajímavým modelem je Rotax 914 turbocharged, který poskytuje vyšší výkon, což jej činí vhodným pro sportovní letadla a piloty, kteří hledají vyšší dynamiku a schopnost létat delší navigační lety ve vyšších nadmořských výškách.

### 3.3 Rotax 912 ULS

Motor Rotax 912 ULS je čtyřtákní, čtyřválcový motor s horizontálně protilehlými válci, který využívá zapalování pomocí svíček. Je vybaven jedním centrálním vačkovým hřídelem, který ovládá zdvihátka a tyčky konstrukcí OHV. Chlazení je zajištěno kapalným chlazením pro hlavy válců a vzdušným chlazením pro válce. Motor je navržen se suchou skříní s nuceným mazáním. Palivo je dodáváno mechanickým čerpadlem do dvou karburátorů s konstantním podtlakem. Motor 912 ULS není vhodný pro akrobatické lety a pro letouny s otáčivými nosnými plochami a poháněnými rotorem.



Obrázek 2 Horní pohled Rotax 912 ULS, zdroj: [5]



Obrázek 3 Boční pohled Rotax 912 ULS, zdroj: [5]

Popis obrázku 2 a 3

- Výrobní číslo motoru (1)
- Karburátor (2)
- Reduktor (3)
- Elektrický startér (4)
- Expanzní nádrž (5)
- Hrdla výfuku (6)
- Přídavný generátor (7)
- Vakuová pumpa (8)

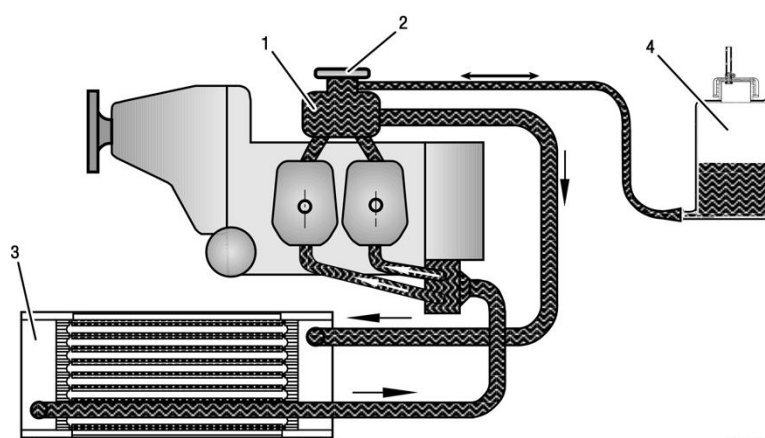
Motor je vybaven elektrickým startérem a integrovanými generátory střídavého proudu s externím usměrňovačem a regulátorem. Pohon vrtule je realizován prostřednictvím integrované

převodovky, která zahrnuje tlumič nárazů a ochranou spojku proti přetížení. Při pohledu zepředu má hřídel vrtule smysl otáčení proti směru hodinových ručiček.

Chladicí systém motoru je navržen kombinací chlazení kapalinou a vzduchem. Kapalným chlazením je zajištěno chlazení hlav válců a vzdušným chlazením jsou chlazeny válce. Chladicí systém hlav válců je uzavřený okruh s expanzní nádrží, díky které umožňuje regulaci tlaku a objemu chladicí kapaliny.

Chladicí kapalina je v systému čerpána vodním čerpadlem, které je poháněno vačkovým hřídelem od chladiče k hlavám válců. Z vrchní části hlav válců poté kapalina směřuje do expanzní nádrže. Vzhledem k tomu, že standardní umístění chladiče je pod úrovní motoru, expanzní nádrž umístěna na jeho vrchu umožňuje expanzi chladicí kapaliny.

Z expanzní nádrže je chladicí kapalina dále nasávána zpět do vodního čerpadla. V běžné konfiguraci prochází mezi tím chladicí kapalina chladičem. Expanzní nádrž je uzavřena tlakovým víkem, které obsahuje ventil pro přetlak a vratný ventil. Při zvýšení teplot chladicí kapaliny se ventil pro přetlak otevře a chladicí kapalina uniká hadicí, která je v běžné konfiguraci motoru připojena k přepadové nádobě a umožňuje nasávat kapalinu zpět do chladicího okruhu, když se motor chladí.



09152

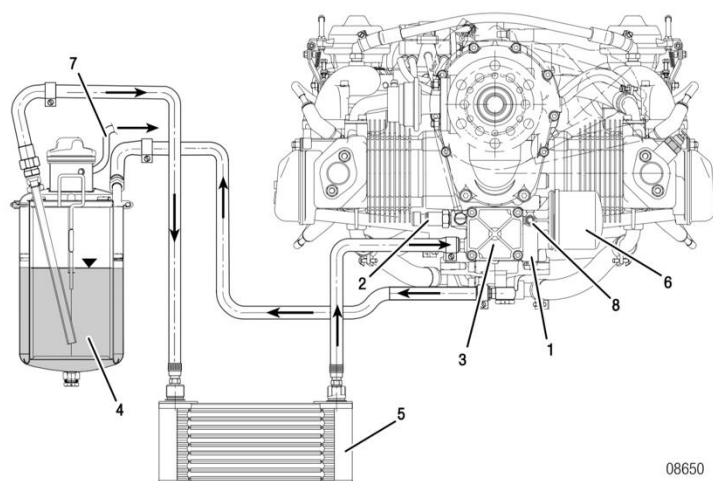
Obrázek 3 chladicí systém motoru Rotax 912 ULS, zdroj: [5]

#### **Popis obrázku 4**

- *Expanzní nádrž (1)*
- *Víko expanzní nádrže (2)*
- *Chladič (3)*
- *Přepadová nádrž (4)*

Motor je vybaven systémem mazání se suchou skříní, který zahrnuje hlavní olejové čerpadlo s integrovaným regulátorem tlaku. Tento typ mazání zajišťuje, že motor dostává potřebné množství oleje i při vysokých otáčkách a zatížení a regulátor tlaku napomáhá udržovat optimální tlak oleje v systému. Hlavní olejové čerpadlo nasává olej z olejové nádrže, který dále pokračuje přes olejový filtr k místům mazání. Tento proces zajišťuje, že je olej nejprve ochlazen, což je důležité při riziku přehřátí motoru. Po filtrování, které odstraní nečistoty, je olej dodáván k určitým komponentům motoru, kde maže pohyblivé části a snižuje tak jejich tření.

Přebytek oleje z míst mazání se hromadí na dně klikové skříně a pomocí pístových spalín putuje zpět do olejové nádrže. Olejové čerpadlo je poháněno vačkovým hřídelem. Mazací okruh je odvětráván otvorem na olejové nádrži. Na krytu olejového čerpadla je také umístěn snímač teploty oleje pro měření jeho teploty na vstupu.



Obrázek 4 Systém mazání motoru Rotax 912 ULS, zdroj: [5]

#### **Popis obrázku 4**

*Redukční ventil (1)*

*Snímač tlaku oleje (2)*

*Olejové čerpadlo (3)*

*Olejová nádrž (4)*

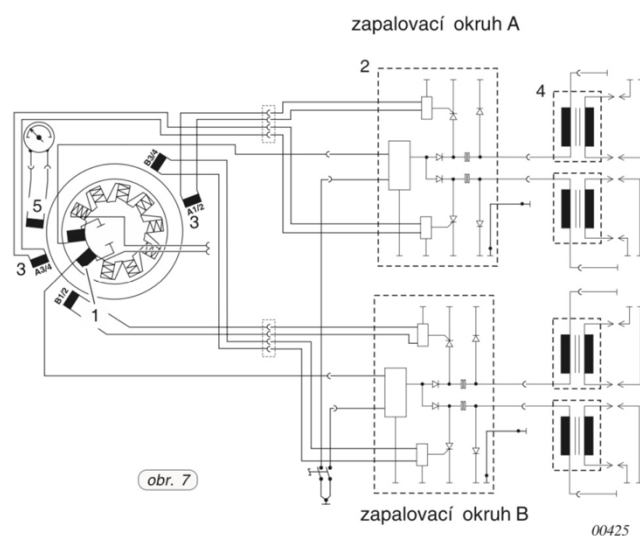
*Olejový chladič (5)*

*Olejový filtr (6)*

*Vývod olejové nádrže (7)*

*Snímač teploty oleje (8)*

Motor Rotax 912 ULS je vybaven dvojitým systémem zapalování bez přerušení, kapacitním výbojem a integrovaným generátorem. Tento systém je navržen tak, aby fungoval bez potřeby externího napájení. Dvě nezávislé nabíjecí cívky (1) umístěné na statoru generátoru dodávají energii oběma zapalovacím okruhům. Energie, kterou cívka tvoří, je ukládána v kondenzátorech elektrických modulů (2). Okamžik zážehu je řízen vždy dvěma ze čtyř vně ležících snímačů (3) a umožní výboj přes primární okruh dvojitých zapalovacích cívek. Další spouštěcí cívka je určena pro signál otáčkoměru, tento signál může být využit i pro další funkce, jako například diagnostiku stavu motoru.



Obrázek 5 Elektrická instalace motoru Rotax 912 ULS, zdroj [5]

### 3.4 Technické parametry motoru Rotax 912 ULS

Technické parametry motoru Rotax 912 ULS	
Maximální vzletový výkon ( <i>kW</i> )	71.5 @ 5 800 1/min
Maximální trvalý výkon ( <i>kW</i> )	68 @ 5500 1/min
Maximální otáčky (1/min)	5 800
Rozsah teplot pro start motoru (°C)	-25 ~ 50
Rozměry (mm)	600 x 420 x 400
Zdvihový objem (cm <sup>3</sup> )	1352
Vrtání (mm)	84
Zdvih (mm)	61
Praktický dostup (ft)	4000

Palivo (-)	Benzin, EN 228 Super
TBO (h)	2000

Tab 1 Technické parametry motoru Rotax 912 ULS, zdroj [9]

Spotřeba paliva	
Startovní výkon (l/h)	27,0
Nejvyšší trvalý výkon (l/h)	25,0
75% trvalého výkonu (l/h)	18,5

Tab 2 Spotřeba paliva Rotax 912 ULS, zdroj [9]



Obrázek 6 Motor 912 ULS, zdroj: [17]

Hmotnost komponentů	
Výfukový systém (kg)	4.0
Prokluzová spojka (kg)	1.7
Airbox (kg)	1.3
Motorová lože (kg)	2.0
<b>Celková hmotnost (kg)</b>	<b>61.0</b>

Tab 3 Hmotnost komponentů Rotax 912 ULS, zdroj: [5]

Cena motoru Rotax 912 ULS se pohybuje okolo 450 000,- bez DPH.

### 3.5 Servisní střediska Rotax v České republice

V České republice je servisních středisek možné údržby SLZ s jednotkou Rotax více, mezi ně patří například servisní středisko v Příbrami, které je úzce spojeno s Dynamic service center, zejména s letounem Dynamic WT9, jeho nabídka služeb ale přesahuje tento typ letounu i k mnoho jiným lehkým letadlům, například Zenair, CTLS nebo CTsw. Dynamic service center nabízí služby, které zahrnují 100 hodinové prohlídky, diagnostiku, opravy, kontrolu reduktorů, ale také technickou podporu. Skupina Dynamic service techniků je pravidelně školená a má pověření nejen od české Letecké amatérské asociace, ale i amerického úřadu, což může být výhodné například pro letadla, která jsou přihlášena pod úřadem FAA v Americe, ale provozována v Evropě. Avšak jediným zástupcem společnosti Rotax v České republice je středisko s názvem Teveso, sídlící v Hradci Králové. Kromě toho Teveso nabízí přehledný přístup k aktuálním servisním bulletinům a také typové kurzy a školení údržby motorů pro mechaniky.

## 4 Pohonné jednotky společnosti Zonsen

### 4.1 Založení a vývoj společnosti Zonsen

Společnost Zonsen Aero Engine byla založena v Číně v roce 2005 s cílem vyvinout a vyrábět vysoce kvalitní pohonné systémy pro ultralehká, sportovní a bezpilotní letadla. V průběhu let Zonsen výrazně investoval do modernizace výrobních procesů a výzkumu nových technologií. Společnost navázala spolupráci s předními univerzitami a výzkumnými institucemi, což přispělo k urychlení inovací a rozvoje výroby. Jejich úsilí vedlo k úspěšnému spuštění na trh několika modelů motorů, které se staly konkurenceschopnými na globálním trhu.

Dnes je Zonsen považován za jednoho z předních výrobců motorů pro sportovní letadla a bezpilotní stroje v Asii. Společnost stále pracuje na inovacích a zlepšení svých produktů, aby splnila měnící se potřeby na trhu a zajistila bezpečnost provozu. Vzhledem k takto dynamickému rozvoji této společnosti lze očekávat, že v budoucnu bude hrát vysokou roli v globální konkurenci leteckých motorů. Zonsen je v porovnání s Rotaxem mladá firma, která si stále hledá cestu na evropském trhu, kde se poprvé představil v roce 2019

V České republice je motor společnosti Zonsen již instalován v několika ultralehkých letadlech, z nichž jedno z letadel brněnské firmy Direct fly má již nálet přes 800 hodin.

## 4.2 Klíčové modely motorů Zonsen

Mezi nyní využívané modely motorů Zonsen Aero Engine v České republice patří CA500, který se vyznačuje vysokou účinností a spolehlivostí. Tento čtyřtaktní motor dosahuje výkonu přibližně 100 koní. Jeho konstrukce se vyznačuje nízkou hmotností a kompaktním rozměrem, což je ideální pro letadla, kde se klade důraz na hmotnost. Motor je vybaven suchou klikovou skříní, mechanickou palivovou pumpou, dvojitým elektronickým zapalováním a dvěma karburátory. Je ideální volbou pro lehká letadla a je vylepšením předešlého modelu CA300.

Dalšími modely společnosti Zonsen je například CA520T, který se vyznačuje svými vyššími výkony i ve vyšších nadmořských výškách. Nabízí vysoký poměr výkonu k hmotnosti.

### 4.3 Zonsen CA500

Motor CA500 je principem své činnosti a konstrukce velmi podobný motoru Rotax 912 ULS. Motor CA500 je čtyřtaktní, čtyřválcový motor s horizontálně protilehlými válci a využívá zapalování pomocí svíček. Motor je vybaven suchou klikovou skříní s nuceným mazáním. Chlazení motoru je zajištěno kapalným chlazením hlav válců a vzdušným chlazením válců. Motor CA500 není vhodný pro akrobatické lety, ani pro užívání v letounech poháněnými rotory.

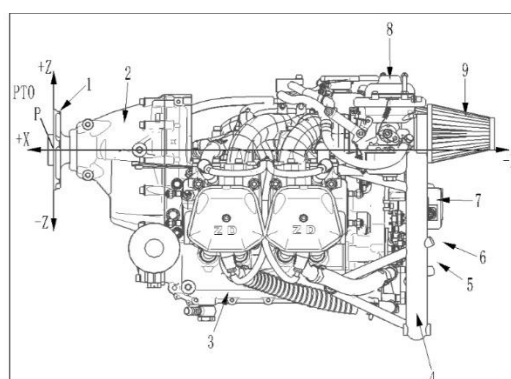
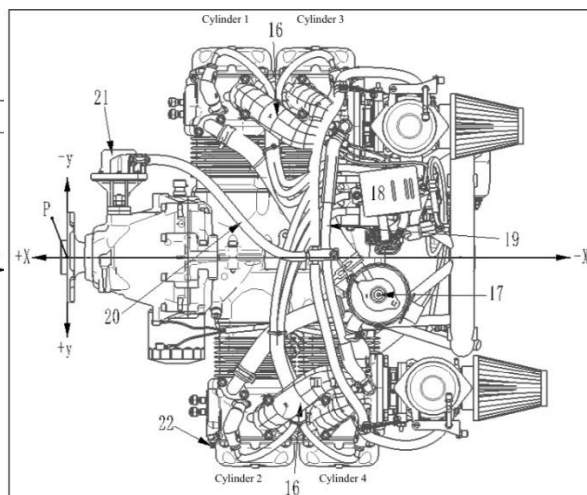
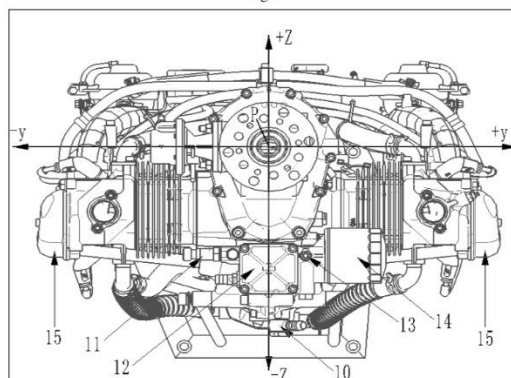


Fig. 1



Obrázek 8 Pohled z boku a zepředu Zonsen CA500, zdroj: [8]

Obrázek 9 Horní pohled Zonsen CA500, zdroj [8]

#### **Popis obrázku 8 a 9**

Reduktor (2)

Blok motoru (3)

Rám zavěšení motoru (4)

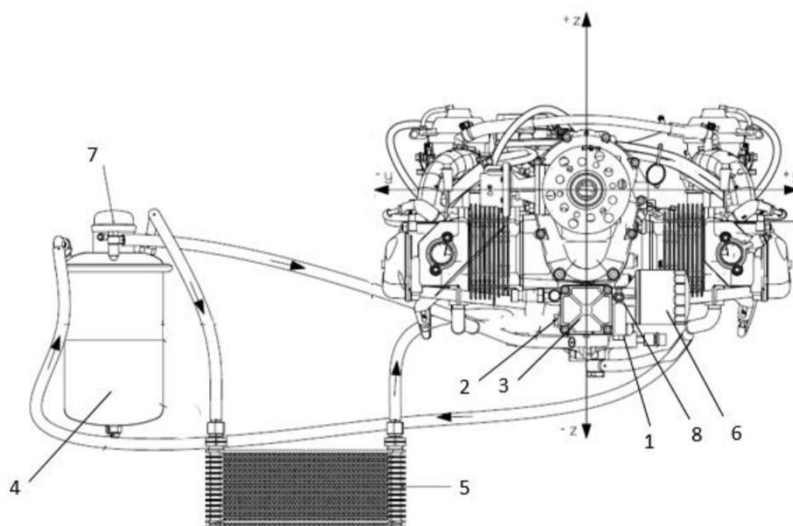
Magneto (5)

Kryt magneta (6)

Elektrický startér (7)

Karburátor (8)

Jak již bylo zmíněno, systém mazání CA500 je zajištěn mazáním se suchou klikovou skříní. Olej je tedy nasáván do olejového čerpadla (1) z olejové nádrže přes olejový chladič (5) a následně je tlačěn do promazaných míst motoru přes olejový filtr (6), který zajišťuje, že je olej zbaven nečistot. Přebytečný olej, který se dostává z mazaných míst, se shromažďuje na dne klikové skříně a je vrácen zpět do olejové nádrže pomocí pístových spalín. Olejový okruh je odvětráván díky ventilům v olejové nádrži.



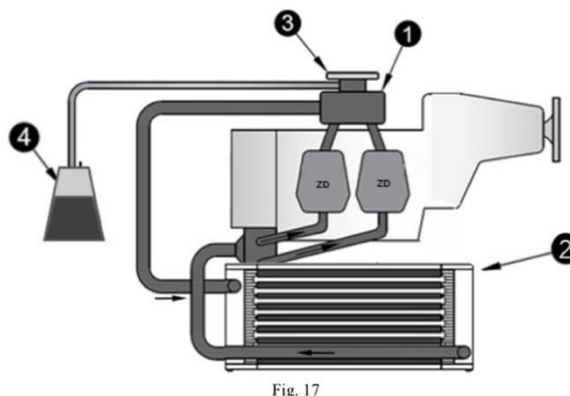
Obrázek 7 Systém mazání motoru Zonsen CA500, zdroj: [8]

#### Popis obrázku 10

- olejové čerpadlo s regulátorem tlaku (1)
- senzor tlaku oleje (2)
- hlavní olejová pumpa (3)
- olejová nádrž (4)
- chladič (5)
- olejový filtr (6)
- hadice k odvodu spalin (7)
- čidlo teploty oleje (8)

Chladicí systém motoru je sestaven kombinací chlazení kapalinou a vzduchem. Chladicí systém hlav válců je sestaven uzavřeným okruhem s expanzní nádrží, který poskytuje regulaci objemu a tlaku chladicí kapaliny. Tok chladicí kapaliny z chladiče do hlav válců je zajištěn vodním čerpadlem, které je poháněno vačkovým hřídelem. Expanzní nádrž je uzavřena tlakovým s ventilem pro uvolnění tlaku a zpětným ventilem. Pokud teplota chladicí kapaliny vzroste, ventil pro uvolnění

tlaku se otevře a chladicí kapalina odtéká do přepadové láhve. Při ochlazení se chladicí kapalina vrací zpět do systému chladicí cirkulace.



Obrázek 8 Chladicí systém motoru Zonsen CA500, zdroj: [8]

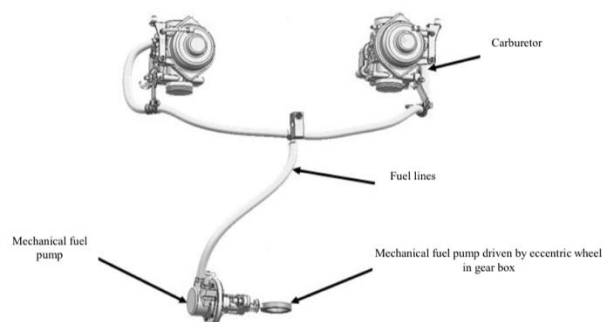
#### Popis obrázku 11

- Expanzní nádoba (1)
- Chladič (2)
- přetlakové víčko expanzní nádrže (3)
- Přepadová nádržka (4)

Systém sání motoru zajišťuje adekvátní objem vzduchu potřebný pro správný chod motoru. Vzduchové sání je přiváděno levým vstupem, který je umístěn vedle vrtulového kužele. Následně vzduch prochází kanálem umístěným na levé straně spodního krytu motoru. Dále je vzduch směřován do zadní části airboxu, kde se nachází mísící klaka. V případě, že je aktivován systém předehřevu vzduchem přiváděného do airboxu, venkovní vzduchová klapka se uzavírá a k filtru vzduchu je dodáván horký vzduch z prostoru motoru. Tento vzduch je pak veden přes filtr a distribuován k jednotlivým karburátorům motoru.

Motor je vybaven duálním zapalovacím systémem, který zahrnuje integrovaný alternátor a vybíjecí kondenzátor. Každá zapalovací jednotka má vlastní zdroj napájení, řídicí jednotku, dvě zapalovací cívky a čtyři svíčky. Zapalovací systém nevyžaduje externí zdroj elektrické energie. Vysokonapěťový proud se rozvádí do zapalovacích svíček pomocí vysokonapěťových kabelů.

Palivový systém motoru zajišťuje dostatečné množství paliva pro motor a společně se systémem ventilů poskytuje také správně vyváženou směs palivového plynu pro motor. Tento systém se skládá především z karburátoru, mechanické palivové pumpy, palivových potrubí a dalších komponentů. Mechanická palivová pumpa dodává palivo do dvou karburátorů



9

Obrázek 9 Palivový systém motoru Zonsen CA500, zdroj: [8]

Převodový systém motoru CA500 má dva režimy. Je vybavena mechanismem s drápovým tlumičem nebo s přetěžovací spojkou. Kardanový hřídel je poháněn klikovým hřídelem prostřednictvím převodovky. Mechanismus tlumiče se skládá z tlumiče nárazů točivého momentu s hubem pro zastavení vrtule, který dokáže unést axiální zatížení prostřednictvím pružiny. Převodový systém zajišťuje hladký průběh motoru ve volnoběhu. V důsledku otáčení bez třecího tlumení dojde k výrazným točivým nárazům, které ale motor nepoškodí, jelikož je vybaven integrovanou přetěžovací spojkou.

#### 4.4 Technické parametry motoru

Technické parametry motoru	
Maximální vzletový výkon ( <i>kW</i> )	71.5 @ 5800 1/min
Maximální trvalý výkon ( <i>kW</i> )	68 @ 5500 1/min
Maximální otáčky (1/min)	5 800
Rozsah teplot pro start motoru (°C)	-40 ~ 50
Rozměry (mm)	670 x 580 x 420
Zdvihový objem (cm <sup>3</sup> )	1352
Vrtání (mm)	84
Zdvih (mm)	61
Praktický dostup (m)	4000 nad mořem
Palivo (-)	Benzin, EN 228 Super
TBO (h)	2000

Tab 4 Technické parametry motoru Zonsen CA500, zdroj: [10]



Obrázek 10 Motor Zonsen CA500, zdroj [16]

Spotřeba paliva	
Startovní výkon ( <b><i>l/h</i></b> )	27,0
Nejvyšší trvalý výkon ( <b><i>l/h</i></b> )	25,0
75% trvalého výkonu ( <b><i>l/h</i></b> )	18,5

Tab 5 Spotřeba paliva Zonsen CA500, zdroj: [10]

### Hmotnosti komponentů

Hmotnost komponentů	
Výfukový systém ( <b><i>kg</i></b> )	4.0
Prokluzová spojka ( <b><i>kg</i></b> )	1.7
Airbox ( <b><i>kg</i></b> )	1.4
Motorová lože ( <b><i>kg</i></b> )	2.0
<b>Celková hmotnost (<i>kg</i>)</b>	<b>61.8</b>

Tab 6 Hmotnost komponentů Zonsen CA500, zdroj: [10]

Cena motoru CA500 se pohybuje okolo 292 000,- bez DPH.

### 4.5 Instalace motoru

Před zahájením instalace je nutné provést podrobnou přípravu, aby se zajistil hladký a bezpečný průběh. Nejprve by měl být motor zvednut pomocí dvou háků nebo popruhů, které jsou upevněny kolem střední části sání. Tento způsob zajišťuje vyvážený zvedák a minimalizuje tak riziko poškození během manipulace. Při zvedání motoru by mělo být dodrženo stabilní a bezpečné

uchopení. Před zvedáním je dobré ověřit, že je prostor čistý od překážek a že je dostatek místa pro manévrování motoru na místo. [6]

Po dodání je motor upevněn na dřevěné desce a je nutné zkontrolovat motor na jakákoliv potenciální poškození během dopravy před instalací. Pro skladování jsou upřesněné přesné parametry pro dodavatele. [6]



Obrázek 11 Instalace motoru CA500, Direct fly Brno,  
zdroj: vlastní



Obrázek 12 Instalace motoru CA500, Direct fly Brno,  
zdroj: vlastní



Obrázek 13 Instalace motoru CA500, Direct fly Brno, zdroj: vlastní



Obrázek 14 Instalace motoru CA500, Skylender Jihlava, zdroj: vlastní

#### 4.6 Servisní střediska motorů Zonsen

Servisní středisko pohonných jednotek Zonsen má v České republice zastoupení v západních Čechách na letišti Kříženeč u Mariánských lázní. Servisní středisko je také distributorem motorů a součástí k motoru. Poskytuje komplexní služby od údržby ultralehkých letadel po technickou podporu a revize.

### 5 Analýza letových výkonů motorů Rotax 912 ULS a CA500

Během analýzy letových výkonů byla pro porovnání použita letadla Alto NG, jedno vybaveno pohonnou jednotkou Zonsen CA500 a druhé vybaveno Rotaxem 912 ULS. Během zkoušky byla snaha minimalizovat rozdíly okolních vlivů, jako je rychlost a směr větru a tyto podmínky byly při zkoušce zohledněny. Mimo jiné se také zohlednily faktory nadmořské výšky letiště, hmotnost posádky, hmotnost paliva, aerodynamické rozdíly letounů a jejich aktuální nálet hodin, který může mít vliv například na bohatost směsi, která se upravuje po určitém náletu. Před letem byly oba letouny v provozu přibližně 15 minut. Následně byly zohledněny také výkony uvedené v provozních příručkách letounů a porovnány s výkony naměřenými. Jediný aerodynamický rozdíl mezi letouny byl, že letoun s registrační značkou OK-DUD66 je konstruován s aerodynamickými kryty kol.

V průběhu zkoušky byl kladen důraz na maximální rychlost v horizontálním letu, maximální vertikální rychlost stoupání a optimální cestovní rychlost. Rychlosti byly měřeny přístroji v letadlech a podpurného měření, pro zjištění pozemní rychlosti, dále jako ground speed GS.

## 5.1 Letoun s pohonnou jednotkou Rotax 912 ULS

### Letoun chebského letiště Alto NG s registrační značkou OK – CUD 77



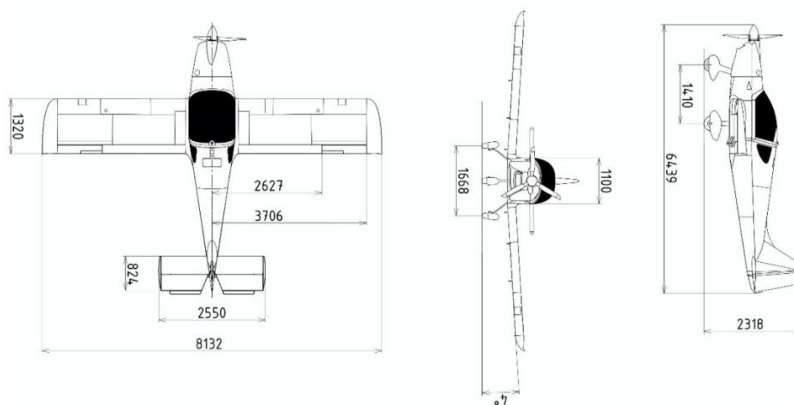
Obrázek 15 ALTO NG – OK CUD 77, zdroj: jetphotos.com

- Poznávací značka: OK – CUD 77
- Typ, název SLZ: ALTO NG
- Rok výroby: 2022
- Pohonná jednotka: ROTAX 912 ULS
- Typ vrtule: Woodcomp
- Počet listů vrtule: 3
- Průměr vrtule:  $1708 \pm 4$  mm
- Hmotnost prázdného letounu: 350 kg
- Maximální vzletová hmotnost: 600 kg
- Hmotnost posádky během zkoušky: 90 + 58 kg
- Objem paliva během zkoušky: 62 l
- Nalétané hodiny SLZ: 145 h

Rozměry letounu	
Rozpětí křídla ( <i>m</i> )	8,13
Délka trupu ( <i>m</i> )	6,44
Šířka trupu ( <i>m</i> )	1,10
Výška trupu ( <i>m</i> )	2,32
Rozpětí vodorovné ocasní plochy ( <i>m</i> )	2,55

Výška svislé ocasní plochy (m)	1,12
--------------------------------	------

Tab 7 Rozměry letounu OK CUD 77, zdroj: [17]



Obrázek 16 pohledový náčrt letounu Alto NG, zdroj: [13]

## 5.2 Letoun s pohonnou jednotkou CA500



Obrázek 17 ALTO NG – OK-DUD 66, zdroj: vlastní

- Poznávací značka: OK – DUD 66
- Typ, název SLZ: ALTO NG
- Rok výroby: 2024
- Pohonná jednotka: ROTAX 912 ULS
- Typ vrtule: Woodcomp
- Počet listů vrtule: 3
- Průměr vrtule:  $1708 \pm 4$  mm
- Hmotnost prázdného letounu: 350 kg
- Maximální vzletová hmotnost: 600 kg

- Hmotnost posádky během zkoušky: 90 + 58 kg
- Objem paliva během zkoušky: 62 l
- Nalétané hodiny SLZ: 58 h

Rozměry letounu	
Rozpětí křídla ( <i>m</i> )	8,13
Délka trupu ( <i>m</i> )	6,44
Šířka trupu ( <i>m</i> )	1,10
Výška trupu ( <i>m</i> )	2,32
Rozpětí vodorovné ocasní plochy ( <i>m</i> )	2,55
Výška svislé ocasní plochy ( <i>m</i> )	1,12

Tab 8 Rozměry letounu OK-DUD 66, zdroj: [11]

### 5.3 Podmínky zkoušek

Lety probíhaly 8. března 2025 v dopoledních hodinách na letišti v Chebu – LKCB

Letiště Cheb dle příručky AIP<sup>2</sup>

- Nadmořská výška: 1585 ft / 483 m
- Výška letištního okruhu: 2600 ft
- Dráhy: 24/06

Meteorologické podmínky během zkoušky<sup>3</sup>

- Teplota: 12 °C / 285,15 Kelvin
- QNH: 1017 hPa
- Vítr: 270/2kt
- CAVOK

<sup>2</sup> VFR příručka. Online. [cit. 2025-05-10].

<sup>3</sup> METAR. Online. Dostupné z: <https://ibs.rlp.cz/home.do>. [cit. 2025-05-10].

## 5.4 Maximální rychlost stoupání

V průběhu první letové zkoušky byl kladen důraz na maximální vertikální stoupavost letounu na rychlosti uvedené v provozní příručce, tedy 120 km/h po vzletu z dráhy 06. Zkouška proběhla třikrát, první vzlet byl proveden se vztakovými klapkami v poloze 0, během následujících letů byly klapky v poloze 1 a následně zasunuty v padesáti metrech nad letištěm. V potaz se brala průměrná stoupavost naměřená do výšky 2200 stop po zasunutí vztlakových klapek.

<b>Letoun OK – CUD77 s pohonnou jednotkou Rotax 912ULS</b>	
Vzlet 1	3,5 m/s
Vzlet 2	3,2 m/s
Vzlet 3	3,5 m/s

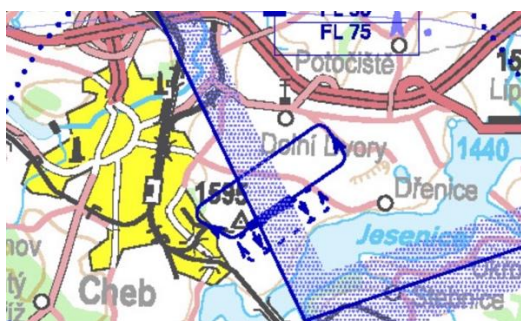
Tab 9 Vertikální rychlost stoupání Rotax 912 ULS, zdroj: vlastní

<b>Letoun OK – DUD66 s pohonnou jednotkou Zonsen CA500</b>	
Vzlet 1	4,5 m/s
Vzlet 2	4,2 m/s
Vzlet 3	4,1 m/s

Tab 10 Vertikální rychlost stoupání Zonsen CA500, zdroj: vlastní

## 5.5 Optimální cestovní rychlost

Druhá letová zkouška probíhala ve výšce 2600 stop ve směru provozního okruhu letiště LKCB směrem na západ.



Obrázek 18 Letiště Cheb - LKCB, zdroj: [14]

Během letu na optimální cestovní rychlosti byla vrtule nastavená na 4600 otáček a plnění motoru 24 ing.

<b>Letoun OK – CUD 77 s pohonnou jednotkou Rotax 912 ULS</b>		
1. let	160 km/h IAS	165 km/h GS
2. let	165 km/h IAS	168 km/h GS
3. let	168 km/h IAS	170 km/h GS

Tab 11 Optimální cestovní rychlost Rotax 912 ULS, zdroj: vlastní

<b>Letoun OK – DUD 66 s pohonnou jednotkou Zonsen CA500</b>		
1. let	163 km/h IAS	164 km/h GS
2. let	160 km/h IAS	165 km/h GS
3. let	160 km/h IAS	169 km/h GS

Tab 12 Optimální cestovní rychlost Zonsen CA500, zdroj: vlastní

## 5.6 Maximální rychlost v horizontálním letu

Třetí letová zkouška probíhala ve výšce 2800 stop ve směru provozního okruhu proti větru, letem na západ. V potaz se brala ustálená rychlosti po 10 vteřinách nastavení maximálního výkonu motoru a vrtule byla nastavená na 5500 otáček.

<b>Letoun OK – CUD77 s pohonnou jednotkou Rotax 912 ULS</b>		
1. let	200 km/h IAS	205 km/h GS
2. let	200 km/h IAS	210 km/h GS
3. let	205 km/h IAS	212 km/h GS

Tab 13 Maximální horizontální rychlost Rotax 912 ULS, zdroj: vlastní

<b>Letoun OK – DUD66 s pohonnou jednotkou Zonsen CA500</b>		
1. let	193 km/h IAS	203 km/h GS
2. let	193 km/h IAS	205 km/h GS
3. let	206 km/h IAS	208 km/h GS

Tab 14 Maximální horizontální rychlost Zonsen CA500, zdroj: vlastní

## 5.7 Porovnání naměřených výkonů s výkony uvedenými v příručkách letounů

### Hodnoty dle provozní příručky

<b>Letoun OK – CUD77, Rotax 912 ULS</b>	
<b>Vertikální rychlost stoupání ve výšce 0 ft</b>	3,7 m/s
<b>Vertikální rychlost stoupání ve výšce 5000 ft</b>	2,8 m/s
<b>Rychlost při 4200 RPM</b>	156 km/h IAS
<b>Rychlost při 5500 RPM</b>	208 km/h IAS

Tab 15 Hodnoty dle provozní příručky Alto NG OK-CUD77, zdroj: [13]

<b>Letoun OK – DUD66, Zonsen CA500</b>	
<b>Vertikální rychlost stoupání ve výšce 0 ft</b>	3,2 m/s
<b>Vertikální rychlost stoupání ve výšce 5000 ft</b>	2,5 m/s
<b>Rychlost při 4200 RPM</b>	155 km/h IAS
<b>Rychlost při 5500 RPM</b>	205 km/h IAS

Tab 16 Hodnoty dle provozní příručky Alto NG OK-DUD66, zdroj: [11]

## 5.8 Vyhodnocení letových zkoušek

Tato analýza se zaměřuje na vyhodnocení výkonných charakteristik dvou letounů Alto NG, které mají identické rozměry a hmotnost, avšak liší se motorizací a aerodynamickými prvky, kdy letadlo vybaveno motorem CA500 je vybaveno aerodynamickými kryty kol, které snižují třecí odpor, zatímco letoun s motorem Rotax 912 ULS nikoli, což mohlo mít lehký vliv na naměřené výkony.

Výsledky naměřených hodnot vykazují, že letoun s motorem CA500 má výrazně lepší vertikální stoupavost ve srovnání s variantou vybavenou motorem Rotax 912 ULS. Tento faktor může být důležitým například pro provozovatele a piloty, kteří létají z letišť s vyšší nadmořskou výškou nebo využívají své letadla jako vlečné.

Na druhé straně, při hodnocení výkonu v horizontálním letu se situace mění, avšak rozdíly nejsou tak výrazné. Letoun s motorem CA500 se prokázal jako o něco pomalejší při optimální cestovní rychlosti a při rychlosti na maximální výkon. Pokud se ale zaměříme na pozemní rychlost obou letadel a zanedbáme vliv větru, zjistíme, že se jejich parametry pohybují v podobných hodnotách.

Je rovněž důležité zmínit, že se naměřené hodnoty odchyľují od hodnot uvedených v provozních příručkách, avšak hodnoty v provozních příručkách jsou měřeny na maximální vzletové hmotnosti, tedy 600 kg. Tyto diference také mohou být způsobeny různými faktory jako je hustota vzduchu, okolní teplota, nadmořská výška a celkově podmínky odchyľující se od mezinárodní standardní atmosféry.

Celkově lze tedy říct, že zatímco letoun s motorem CA500 je výkonnější ve vertikální stoupavosti, jeho výkon v horizontálním letu je o něco nižší než u letounu s motorem Rotax 912 ULS. Tyto rozdíly mohou být důležitými faktory pro provozovatele a piloty při výběru vhodného motoru. Letové zkoušky nám také dokazují, že aerodynamické úpravy pro snížení odporu mají podstatný vliv na výkon letounu jako celku.

## 6 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo provést srovnávací analýzu dvou pístových letadlových motorů v kategorii ULL – Zonsen CA500 a Rotax 912 ULS – s ohledem na technické parametry, provozní vlastnosti a vhodnost pro různé skupiny uživatelů. Oba motory vykazují velmi podobnou konstrukční koncepci a provozní charakteristiky, přesto byly v rámci výkonostních zkoušek vykázány určité rozdíly.

Z provedených měření vyplynulo, že letoun osazený motorem Zonsen CA500 dosahoval lepších hodnot vertikální rychlosti při stoupání na plném výkonu, což může být výhodou zejména při vzletech z ploch s okolními překážkami měst či lesů a nebo pro aerokluby při použití letadla jako vlečné. Naproti tomu Rotax 912 ULS prokázal mírně vyšší rychlost v horizontálních letech, což může být přínosné při delších navigačních letech nebo při důrazu na ekonomiku letu.

Jedním s výrazných faktorů ve srovnání je pořizovací cena. Motor CA500 je cenově dostupnější, což z něj může činit atraktivní volbu zejména pro menší aerokluby nebo soukromé provozovatele s omezeným rozpočtem na provoz. Na druhé straně, avšak Rotax 912 ULS těží z výrazně širší servisní sítě a lepší dostupností náhradních dílů a technické podpory v Evropě, což přináší výhodu z hlediska častého provozu a údržby.

Z hlediska celkových provozních vlastností si jsou oba motory velmi blízké, liší se zejména v detailech. Proto na základě provedené analýzy lze doporučit volbu motoru dle specifických potřeb uživatelů. Pro provozovatele a uživatele SLZ, kteří kladou důraz na nižší pořizovací náklady a jsou schopni si lehkou údržbu udělat svépomocí nebo mají servisní středisko poblíž může být vhodnou volbou CA500. Naproti tomu pro komerční využití SLZ, velké letecké školy či piloty s vysokým náletem hodin může být i přes vyšší pořizovací cenu výhodnější motor Rotax 912 ULS z důvodu globální sítě servisů.

## 7 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] KOCÁB, Jindřich a ADAMEC, Josef, 2020. Letadlové motory. Vydání 3. Praha: Corona. ISBN 978-80-86116-94-5.
- [2] ADAMEC, Josef; HANUS, Daniel; KOCÁB, Jindřich; MARŠÁLEK, Josef a TŘETINA, Karel, KULČÁK, Ludvík (ed.), 2006. Pohonná jednotka (021 03): [učební texty dle předpisu JAR-FCL 1]. Učební texty pro teoretickou přípravu dopravních pilotů dle předpisu JAR-FCL 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM. ISBN 80-7204-477-X.
- [3] MASLENNIKOV, M. M. a RAPIPORT, M. S., 1955. Letadlové pístové motory: Určeno technikům s vysokošk. vzděláním a posluchačům vys. škol, stř. kádrům strojírenského prům. 2. díl. Řada strojnické literatury. Praha: SNTL.
- [4] HUJEČEK, Zdeněk, 2004. Vrtule: studijní modul 17. Učební texty dle předpisu JAR-66. Brno: Akademické nakladatelství CERM. ISBN 80-7204-363-3. Dostupné také z: <http://krameriusndk.nkp.cz/search/handle/uuid:e9cb9500-8af6-11e6-84e2-005056827e51>.
- [5] Installation Manual for Rotax Engine type 912 Series. [online]. Günskirchen: BRP – Rotax GmbH & Co KG, 214 s. Dostupné z: INSTALLATION MANUAL
- [6] Installation manual CA500 Aero Piston Engine [online]. Chongqing Zonsen Aero Engine Manufacturing Co., Ltd.
- [7] Operators manual Rotax Engine type 912 Series. [online]. Günskirchen: BRP – Rotax GmbH & Co KG, 214 s. Dostupné z:
- [8] Operators manual CA500 Aero Piston Engine [online]. Chongqing Zonsen Aero Engine Manufacturing Co., Ltd.
- [9] Maintenance manual Rotax Engine type 912 Series. [online]. Günskirchen: BRP – Rotax GmbH & Co KG, 214 s. Dostupné z:
- [10] Maintenance manual CA500 Aero Piston Engine [online]. Chongqing Zonsen Aero Engine Manufacturing Co., Ltd.
- [11] Letová a provozní příručka ALTO NG. Direct fly s. r. o., vydání 0-POH-MU-180-2024
- [12] KOUTNÍK, Tomáš. Letecké pohonné jednotky [online]. Brno, 2008 [cit. 2025-04-28]. Bakalářská práce. Vysoké učení technické Brno, letecký ústav. Ing. Róbert ŠOŠOVIČKA, PhD.

- [13] Letová příručka ALTO NG. Direct fly s. r. o., výrobní číslo DF174/20227
- [14] VFR příručka AIP, 2025. Online. Dostupné z: <https://aim.rlp.cz/vfrmanual/>. [cit. 2025-05-09].
- [15] Rotax Engines. Online. Dostupné z: <https://www.flyrotax.com/products/912-uls-s>. [cit. 2025-05-09].
- [16] Zonsen aero engine. Online. Dostupné z: <https://en.zonsen.cn/>. [cit. 2025-05-09].
- [17] Rotax Engines. Online. Dostupné z: <https://www.flyrotax.com/cs/products/912-uls-s>. [cit. 2025-05-10].