



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

LETECKÝ ÚSTAV

INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ ŽIVOTNOST MOTORU V ZÁVISLOSTI NA ČINNOSTI PILOTA

FACTORS AFFECTING ENGINE HEALTH AS A FUNCTION OF PILOT ACTIVITY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Klára Trtíková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Miroslav Červenka, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání bakalářské práce

Ústav: Letecký ústav
Studentka: **Klára Trtíková**
Studijní program: Profesionální pilot
Studijní obor: bez specializace
Vedoucí práce: **Ing. Miroslav Červenka, Ph.D.**
Akademický rok: 2023/24

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.1111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Faktory ovlivňující životnost motoru v závislosti na činnosti pilota

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Životnost a spolehlivost leteckých motorů značně ovlivňuje jejich zatížení a teplotní režimy, kterými motor během své činnosti prochází. Nevhodný teplotní profil zatěžující motor je jeden z faktorů, který může způsobit rychlejší opotřebení a kratší životnost. Pilot letounu je primární článkem, který má možnost ovlivnit tepelný management motoru především tím, že pečlivě sleduje a citlivě ovládá motor a jeho pomocné prvky během všech režimů letu. Avšak ne všichni piloti jsou této problematice vědomi a ne vždy je možné věnovat plnou pozornost jen a právě motoru. Cílem této práce je proto shrnout a zhodnotit faktory tepelného zatížení na životnost motorů a zároveň i provést osvětu mezi aktivními i svátečními piloty.

Cíle bakalářské práce:

1. Souhrn problematických teplotních režimů motorů a doporučení výrobců dvou motorů o rozdílných charakteristikách, jako například Rotax 912/915 a Lycoming.
2. Popis problémů při přehřátí a podchlazení, situace, při kterých k těmto jevům dochází, a jejich důsledky.
3. Rozbor konkrétních případů – příčiny a důsledky.
4. Zpracování a vyhodnocení dotazníku o povědomí a znalostech pilotů týkajících se teplotních režimů motorů.
5. Souhrn doporučení (good practices) pro piloty o způsobech, jak prodloužit motoru životnost.

Seznam doporučené literatury:

KOCÁB, Jindřich a ADAMEC, Josef. Letadlové motory. Praha: Kant, 2000. ISBN 80-902914-0-6.

Operators manual Rotax type 914 series [online]. Rotax, 2019 [cit. 2023-10-26]. Dostupné z: https://www.rotax-owner.com/pdf/OM_914_Series_ED3.pdf.

Operator's Manual Lycoming O-320 Series [online]. 3rd. Williamsport: Lycoming, 2006 [cit. 2023-10-26]. Dostupné z: <https://www.lycoming.com/sites/default/files/attachments/O-320%2520Operator%2520Manual%252060297-30.pdf>.

POWERPLANT ATPL GROUND TRAINING SERIES [Pdf]. United Kingdom: CAE Oxford Aviation Academy, 2014 [cit. 2023-10-26]. Dostupné z: <https://files.moskvich.xyz/ATPL/CAE%20Oxford%20Aviation%20Academy%20-%20020%20Aircraft%20General%20Knowledge%203%20-%20Powerplant%20%28ATPL%20Ground%20Training%20Series%29%20-%202014.pdf>.

ATPL Theoretical Training Manual: Aircraft General Knowledge 3. 4th. United Kingdom: Oxford aviation academy, 2008. ISBN 9781904935032.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jaroslav Juračka, Ph.D.
ředitel ústavu

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

Abstrakt

Práce se zabývá životností pístových motorů v závislosti na činnosti pilota. Zejména řeší problémy přehřívání a podchlazování motoru, kterým se lze správnou pilotáží většinou vyhnout. Práce uvádí čtenáře do tématu popisem problematiky přehřívání a podchlazování, situace, kdy k oběma problémům dochází a jejich důsledky. Dále následuje vyhodnocení dotazníků pro provozovatele a piloty, výběr mezních hodnot a doporučení od výrobců čtyř různých motorů, rozbor konkrétních případů poruch v důsledku náročných tepelných režimů a souhrn doporučení pro piloty. Poslední kapitola je souhrnem rozhovorů o zkušenostech s touto problematikou od leteckých techniků.

Klíčová slova

Podchlazování, přehřívání, životnost, pístové motory, teplotní roztažnost, pilotáž, závady

Abstract

The thesis deals with the lifetime of piston engines depending on the pilot's activity. Especially the problems of overheating and undercooling, which can be mostly avoided by proper piloting. This thesis opens this topic with a description of the problems caused by engine overheating and undercooling, describes various situations where this phenomenon may occur and its consequences. Further chapters continue with evaluation of operator and pilot questionnaires, description of engine limits and recommendations from the manufacturers of four different engines, an analysis of specific cases of failures due to severe thermal shocks, and a finally summarizes recommendations for pilots. The final chapter recapitulates experience on this topic based on interviews with hands-on aircraft engineers and maintenance technicians.

Keywords

Undercooling, overheating, durability, piston engines, thermal expansion, piloting, faults

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

TRTÍKOVÁ, Klára. Faktory ovlivňující životnost motoru v závislosti na činnosti pilota. Brno, 2024. Dostupné také z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/158705>.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Letecký ústav. Vedoucí práce Miroslav Červenka.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením Ing. Miroslava Červenky, Ph.D., na základě dostupné literatury a dostupných informačních zdrojů, které jsem všechny citovala v seznamu použité literatury.

V Brně dne: _____

Klára Trtíková

Poděkování

Chtěla bych poděkovat svému vedoucímu Ing. Miroslavovi Červenkovi, Ph.D., za ochotu a odhodlání se se mnou do tohoto téma pustit a za vstřícný přístup. Svým rodičům za inspiraci k přístupu k celoživotnímu vzdělávání a pomoc při studiu. Svým bratrům – Jirkovi za vzor pro nevzdávání se a Pětovi za vzor charakteru a za to, že tu pro mě vždy je.

V Brně dne: _____

Klára Trtíková

Obsah

ÚVOD	9
1. POPIS PROBLÉMU PŘEHŘÁTÍ A PODCHLAZENÍ, SITUACE, PŘI KTERÝCH K TĚMTO JEVŮM DOCHÁZÍ, A JEJICH DŮSLEDKY	10
1.1 PODCHLAZENÍ MOTORU	11
1.2 PŘEHŘÁTÍ MOTORU	11
2. ZPRACOVÁNÍ A VYHODNOCENÍ DOTAZNÍKU O POVĚDOMÍ A ZNALOSTECH TÝKAJÍCÍCH SE TEPLOTNÍCH REŽIMŮ MOTORŮ	13
2.1 ROZBOR VÝSLEDKŮ DOTAZNÍKU PRO PROVOZOVATELE	13
2.2 ROZBOR VÝSLEDKŮ Z DOTAZNÍKU PRO PILOTY	18
3. ROZBOR KONKRÉTNÍCH PŘÍPADŮ POŠKOZENÍ NA ZÁKLADĚ TEPELNÉHO PŘETĚŽOVÁNÍ – PŘÍČINY A DŮSLEDKY	21
4. SOUHRN PROBLEMATICKÝCH TEPLOTNÍCH REŽIMŮ MOTORŮ A DOPORUČENÍ VÝROBCŮ MOTORŮ O ROZDÍLNÝCH CHARAKTERISTIKÁCH.....	26
4.1 ZLÍN Z-226 MS – M137 A	27
4.2 DR400/180 ROBIN - O-360-A3A LYCOMING	29
4.3 L 13 SW VIVAT – WALTER MIKRON IIIS/A	31
4.4 EUROSTAR – ROTAX 912 UL	33
5. SOUHRN DOPORUČENÍ (GOOD PRACTICES) PRO PILOTY O ZPŮSOBECH, JAK ŠETRNĚ ZACHÁZET S MOTOREM	35
5.1 DOPORUČENÍ PRO PILOTY PRO ŠETŘENÍ ŽIVOTNOSTI MOTORU	35
5.2 POSTUPY PŘI PŘEHŘÍVÁNÍ NEBO PODCHLAZOVÁNÍ	36
6. ZKUŠENOSTI OD LETECKÝCH TECHNIKŮ	37
ZÁVĚR	38
LITERATURA.....	39
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	40

ÚVOD

V dnešní době náklady v letectví neustále stoupají a je čím dál těžší si tuto zálibu či kariéru dovolit, ať už se jedná o piloty, či provozovatele. Proto je v zájmu všech se snažit co nejméně motor při provozu opotřebovávat a chtít se v této problematice vzdělávat. V této bakalářské práci se bude zejména pojednávat o přehřátí a podchlazení motoru. Šetrného zacházení s motorem lze dosáhnout, pouze pokud má pilot o této problematice povědomí a byl s ní seznámen.

Motivací k této bakalářské práci bylo jak vytvoření uceleného pojednání o této problematice pro lehkou osvětu obzvlášť čerstvých, ale i zkušených pilotů, kteří možná nejsou v tomto ohledu tak znalí, tak osobní zájem o zjištění, jak často tyto problémy řeší provozovatelé nebo piloti, čehož bylo dosaženo pomocí dvou dotazníků. Práci uzavře shrnutí doporučených praktik převzatých z různých příruček či mnoholetých zkušeností pilotů a mechaniků. Je na uvážení každého pilota, zda chce motor šetřit, prodloužit tím jeho životnost a vyhnout se problémům spojeným s přehřátím či podchlazením, či nedbat na tato fakta a poté riskovat dlouhodobější odstávku.

1. POPIS PROBLÉMU PŘEHŘÁTÍ A PODCHLAZENÍ, SITUACE, PŘI KTERÝCH K TĚMTO JEVŮM DOCHÁZÍ, A JEJICH DŮSLEDKY

Ve všeobecném (malém) letectví jsou především využívány 4-6 válcové pístové motory. Ty mohou být chlazené buď vzduchem, nebo kapalinou (případně kombinací). V závislosti na způsobu chlazení se nám mění postupy, které bychom měli dodržovat pro optimální použití motoru a pro co nejdéší udržení jeho životnosti. Problematika přehřátí platí jak pro motory chlazené vzduchem, tak kapalinou. Problematiku podchlazení je obzvláště důležité znát při operaci s motorem chlazený vzduchem. „Sledování teplot motoru je důležitým faktorem bezpečnosti letu, a proto se měří nejen teplota oleje, ale i teplota hlav válců. Čidlo (např. termočlánek) je umístěno zpravidla pod svíčkou nejhůře chlazeného válce (u řadových motorů Walter je to uprostřed řady válců) a ukazatel teploty hlav válců na palubní desce může být významným omezujícím faktorem pro nastavení režimu motoru” [1].

Ve velkém dopravním letectví jsou jasně stanovená pravidla a postupy dané provozovatelem, zatímco u všeobecného malého létání je v tomto ohledu občas šedá zóna. Provozovatelem jsou většinou dané checklisty, ale vzhledem k nutné přítomnosti pouze jednoho pilota na palubě je velmi těžké pro provozovatele kontrolovat, zdali jsou tyto postupy dodržovány a motor chráněn vůči nadměrnému opotřebení. Ať už je důvodem snaha o zkrácení času a ušetření peněz, nedostatečné plánování letu dopředu, neznalost problematiky, či prostá nedočkavost a nedbalost postupů, je dodržování režimů a šetření motorů proti nadměrné tepelné zátěži na letištích častý problém. V různých fázích letu jsou pro to nejčastější různé důvody, které budou probrány v dalších částech.

Jedním z faktorů ovlivňující teploty v motoru je bohatost směsi (množství paliva přicházející do válců). Pokud je používána pohonná jednotka, ve kterém pilot může bohatost směsi ovlivňovat, je třeba si být vědom možných rizik. Ovládání bohatosti může přispět jak k podchlazení, tak přehřátí motoru, neboť množství paliva vstupujícího do válců přímo ovlivňuje teplotu pracovního cyklu směsi. Čím bohatší směs, tím více paliva nám přichází do pohonné jednotky a tím více se nám motor chladí. A naopak při chudší směsi omezujeme množství paliva, které může do motoru jít, a může nastat přehřátí motoru. Nesprávné zacházení s bohatostí, obzvláště při přílišném ochuzení, může mít za následek velmi rychlé fatální přehřátí motoru. Znalost správných postupů pro ochuzení motoru v cestovním letu, zároveň sledování motorových parametrů a poté postupné obohacování jsou stěžejní pro bezpečné a šetrné létání.

1.1 Podchlazení motoru

Mezi nejčastější situace, kdy k podchlazení nastává, patří okamžik, když pilot potřebuje náhle sklesat, přičemž k tomu použije snížení výkonu na nízký až volnoběžný výkon. Obzvláště náchylné jsou k tomu motory chlazené vzduchem, které se chladí úměrně s rychlostí letu. Jelikož zvýšená rychlost znamená zvýšený průtok vzduchu okolo motoru, dochází ke zrychlenému ochlazování vnějších částí motoru, např. válců motoru. Motor se skládá z různých materiálů s různou teplotní roztažností, ty se se sníženou teplotou smršťují. Problém nastává tím, že motor je ochlazován zvenku, zatímco vnitřní díly jsou stále zahřáté na provozní teploty, a tím pádem roztažené. Pokud je tato teplotní změna rychlá, může dojít ke snížení vůlí vnějších a vnitřních částí a následnému poškození, jelikož se může stáhnout jedna součást okolo druhé a tím nastane kontakt kov na kov.

Příklady provozů, kdy tento problém vzniká, je klesání vlečného letounu po vypnutí kluzáků nebo sestup po vysazení parašutistů. Je to cyklický provoz s velmi krátkým či nulovým cestovním letem, takže dochází k přechodu z režimu stoupání, s ním spojeným plným výkonem a velmi vysokou teplotou rovnou do režimu klesání. Také se to může stát při nácvičku okruhů či nouzových a bezpečnostních přistání. Dopadem náhlého podchlazení mohou být zlomené pístní kroužky, nadměrně opotřebované drážky pístních kroužků, prasklé hlavy válců, ohnutá táhla, pokřivené výfukové ventily a znečištěné zapalovací svíčky aj. [2].

1.2 Přehřátí motoru

Při provozu motoru se ve válcích důsledkem spalování směsi a tření součástí motoru vyvozuje velmi vysoké teploty a celkové zahřívání motoru. Při poruše v chlazení či nedodržení správných postupů a režimů letu se mohou tyto teploty dostat až hodnot pro motor destruktivních. To může zapříčinit detonace ve válcích, nadměrné opotřebení motoru, snížení mazací účinnosti, negativní ovlivnění spalovacího procesu a celkové snížení životnosti motoru [1].

“Účinnost vzduchového chlazení je tím větší, čím větší plocha válců je vystavena proudícímu vzduchu. Proto jsou válce i hlavy válců opatřeny bohatým žebrováním, které tuto plochu zvětšuje. Chlazení se zlepšuje vhodným tvarováním motorových krytů a montáží usměrňovacích plechů (deflektorů), které dokáží nejen nasměrovat, ale i lokálně urychlit proudění vzduchu nebo vyvolat intenzivní místní turbulentní proudění a tím lépe chladit ochlazovaný povrch.” [1] Problém nastává ve chvíli, kdy je motor na maximálním výkonu a neprochází jím dostatečný proud vzduchu pro ochlazení. To může být zapříčiněno více situacemi, například po dlouhém stoupání na maximálním trvalém výkonu obzvláště při vysokých teplotách a ve vysokých nadmořských výškách, při dlouhém pojiždění atd.

Nesprávné časování zapalování, průtok paliva, průtok chladicího vzduchu a provozní postupy jsou mezi čtyřmi hlavními příčinami přehřívání motoru. Při vysokém výkonu

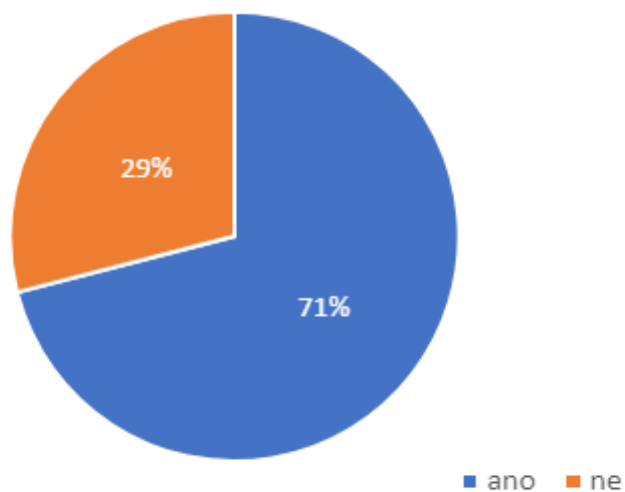
motor vyžaduje přesné množství paliva pro správné chlazení. Motory mohou být vybaveny karburátory, které mají nastavený speciální obohacovací ventil paliva na vzlet, tak aby se motoru dodávalo palivo na přídavné chlazení. Proto je u nich důležité mít při stoupání do cestovní hladiny plně otevřenou škrticí klapku (páku přípusti na doraz), při nedodržení může mít nedostatek chlazení negativní důsledky. Ubrání přípusti zavře obohacovací ventil, znemožní dodatečný přísun paliva a může dojít k přehřívání motoru [3].

2. ZPRACOVÁNÍ A VYHODNOCENÍ DOTAZNÍKU O POVĚDOMÍ A ZNALOSTECH TÝKAJÍCÍCH SE TEPLOTNÍCH REŽIMŮ MOTORŮ

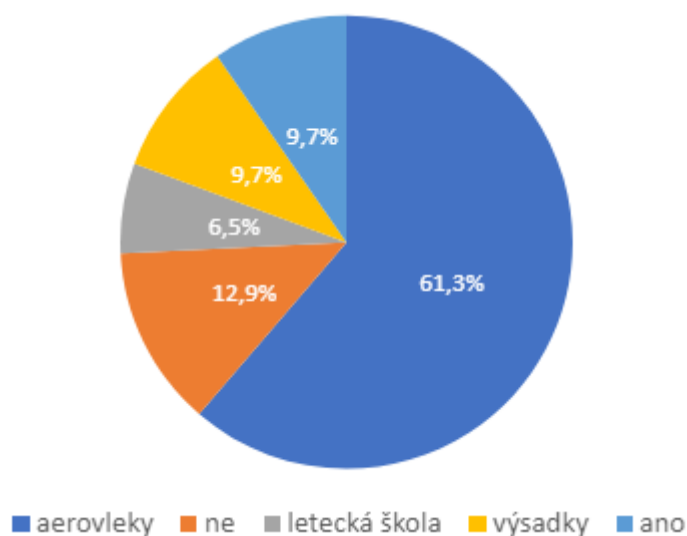
Pro tuto bakalářskou práci byly vytvořeny dva anonymní dotazníky. Jeden pro piloty, na který odpovědělo 45 respondentů, a druhý pro provozovatele, který měl přes 30 odpovědí. Cílem bylo zjistit povědomí pilotů (a pilotek, ale v zájmu usnadnění psaní bude odkazováno dále v práci na piloty jako celek) o podchlazování či přehřívání a zároveň odhalit, jaké kroky podnikají provozovatelé.

2.1 Rozbor výsledků dotazníku pro provozovatele

Jak vyplývá z grafu 2.1.1, přes 70 % dotazovaných provozovatelů se s touto problematikou setkalo. Další otázka byla zaměřená na druh provozu, který primárně praktikují, odpovědi jsou v grafu 2.1.2.

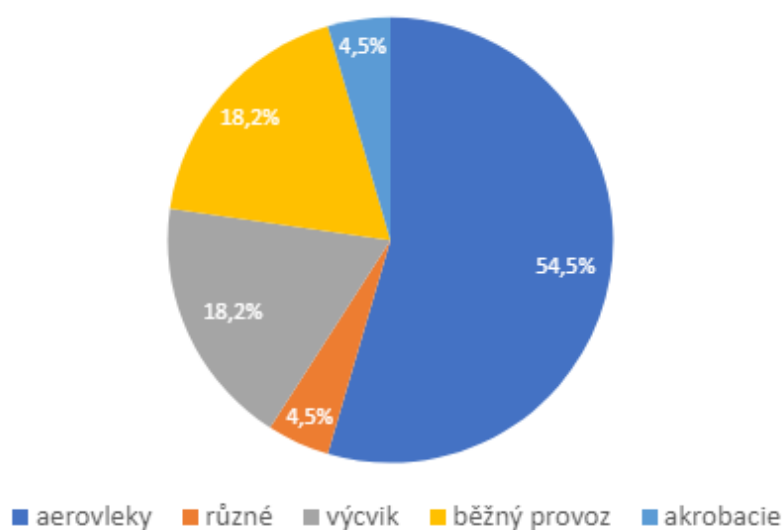


Graf 2.1.1 Setkali jste se někdy ve vašim okolí se závadou motoru v důsledku podchlazení nebo přehřátí motoru?



Graf 2.1.2 Provozujete aerovleky, výsadky nebo jiný provoz obzvláště náročný na prudké teplotní změny?

Převážně provozované bylo vlečení větroňů. Jako jeden z nejnáročnějších provozů na teplotní změny je to ve shodě s předchozím grafem. Nejčastěji zmiňovaný letoun, na němž vznikla závada, byl Zlín 226, jenž je často využíván právě jako vlečný letoun, jak je ukázáno v Tabulce 2.1.1. Nicméně celkově bylo zmíněno mnoho motorů, závažností poruch, délek oprav i jejich ceny. Z dotazníku vyplývá, že je třeba se o tuto problematiku zajímat. Délka i finanční náročnost oprav závisejí na typu letadla a poruchy, dostupnosti náhradních dílů a servisu. Je vidět, že je zde celá škála odpovědí od dnů do roků a od pár stovek do milionů korun za provedení opravy. Graf 2.1.3 porovnává druhy provozu, v nichž byly poškozené letouny provozovány.



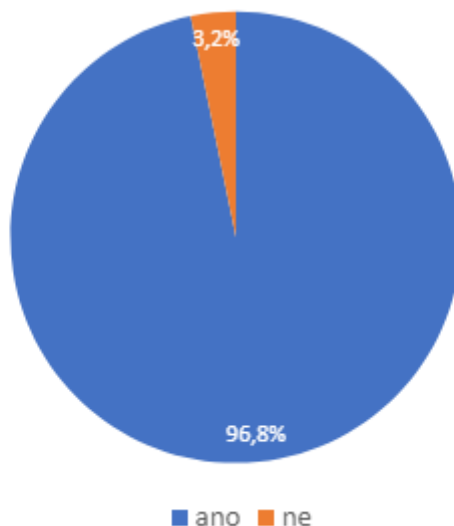
Graf 2.1.3 Na jaký provoz bylo letadlo se závadou primárně využíváno?

Tabulka 2.1.1 Typ letounu a motoru na kterém se odpovídající potkali se závadou

Typ letounu a motoru	Doba a cena opravy
Rotax 912 - chyba pilota, nesundán zimní doplněk, který v zimě zakrývá část chladiče	Do hodiny; 300 Kč
Z226MS M137, prasklý blok motoru	1/2 roku výměna motoru; 550 000 Kč
SR22	16 000 €
Z-226MS při aerovlecích, motor M-137A. Standartně 5. válec, zapečené kroužky, ztráta komprese - těsnosti, nárůst spotřeby oleje, pokles výkonu...	Výměna válce za náhradní – vyhonovaný, osazení pístu novými kroužky, záběh; týden
Z 142/ M337 provoz v zimních podmínkách se simulací vysazení motoru	Nebylo vyřazeno pro poruchu
více letounů, motory Rotax, Walter, Avia, Parma a další	Od nuly do cca milionu (GO); od pár hodin do 2 let
Z-226 motor asi M-137 A	Je to více let, ale asi pár měsíců; cenu už nevím
Z226, Z43, motory M337, M137	Přibližně 1 měsíc, ale jedná se o průběžné opotřebení dílčích komponentů
Continental C210	3 měsíce; 200 000 Kč
Z-226, motor M137, Z-142, motor M337. Dlouhodobým podchlazováním došlo k mnoha závadám od problémů se spouštěním motoru až po prasklý blok motoru.	Při méně zásadních závadách a šikovném technikovi 1 den, v případě prasklého bloku motoru je doba závislá na tom, kdy je k dispozici nový motor
Z-226 vlečný letoun s motorem M-137	14 dnů
Pa 25 Pawnee, praskání výfukových svodů	2 měsíce
Z226MS – praskla hlava válců, zapečené prasklé pístní kroužky, prasklý píst	Jeden týden až tři měsíce; od 20 000 do 12 000 Kč
Mikron III B – práce s klapkou.	6 měsíců
Dr400. Vlekací letoun. Prasklý sací kanál válce. Přehřátí válce v místě výfukového kanálu.	50 000 Kč; 3 dny
L13SE Vivat	Dva roky
Z-226MS při vlekání v létě, Z-43 při vyhlídkách v létě.	Týdny až měsíce
Několik letounů, vždy motor Rotax 912 ULS	Nedošlo k poškození motoru, vždy jsme si přehřívání všimli a vždy byla závada na vodním chlazení hlav válců a vždy šlo o únik chladicí kapaliny.
Z226, motor M137	6M
Za moji dlouholetou praxi mnoho případů s nedodržením provozních teplot u většiny vzduchem chlazených motorů. Další problém nedodržení poměru vzduch + palivo u motorů s ovládáním bohatosti směsi.	Při častém nedodržení teplotních hodnot leteckých motorů to řeší většinou výměny pístů, válců a i celková GO motoru.
Z142, popraskané pístní kroužky na 1. válci	2 dny

Jak jasně vyplývá z dotazníku, nejčastější výskyt je při vlečení větroňů, ale i výcvik či běžný provoz generují poměrně častý výskyt poruch v důsledku náhlého podchlazení či přehřátí.

Další otázka se snažila zkoumat, zda si provozovatelé myslí, že je v jejich zájmu, aby piloti omezovali zvýšené opotřebování motoru. Až na jednoho provozovatele všichni odpověděli ano, viz graf 2.1.4.



Obrázek 2.1.4 Myslíte, že je ve vašem zájmu, aby piloti omezovali zvýšené opotřebování motoru?

Provozovatelé věří, že je v jejich zájmu, aby piloti omezovali zvýšené opotřebování motoru. Až na jednoho provozovatele všichni odpověděli, že pilotům vysvětlují, proč je třeba právě na toto dávat pozor. Mezi uvedené důvody patřily například životnost motoru, fakt, že zvýšené opotřebování vede k rizikovějšímu provozu nebo finanční náročnost opravy.

Poslední otázka byla zacílená na zkušenosti nebo vlastně na cokoliv, co by chtěli dotazovaní provozovatelé dodat. Zde je pár vybraných odpovědí:

“Vždy je to otázka přístupu pilota. Pakliže nerespektuje správný postup sestupu (chlazení) a správný postup stoupání, nebude létat.”

“Kvalitní výcvik pilotů pro dané letové činnosti a častá kontrola a prevence. Naprostá znalost letových režimů.”

“Omezení výcvikových letů při vysokých teplotách – nad 28 °C, neprovádění výcviku nouzových přistání při nízkých teplotách pod 0 až +5 °C, důsledné dodržování teplot a

častější sledování hodnot, celým výcvikem vést žáky k respektu k technice a dodržovat to, co požadujeme od ostatních.”

“Při výsádkách je důležité dodržovat režimy, především při klesání. Klesat na výkonu. Provozovali jsme C182 s motorem Continental O480, 6 válec, atmosféra, v letech 2009 - 2018. Všichni nás od výsadku s pístovým motorem zrazovali. Striktním dodržováním režimů jsme při náletu cca 1000 h problém neměli.”

“Neklesat prudce na vysoké rychlosti bez plynu. Bohužel se našel pilot, co to neřešil a praskl motor.”

“Vydáváme doporučení VLP na omezení provozu letounů (aerovleky, seznamovací lety) při teplotách vnějšího vzduchu nad 30 °C, zároveň při TOW zamezení prudkého vyklesávání tak, aby naopak nedocházelo k rychlému ochlazení hlav válců (platí zejména u Z226) “

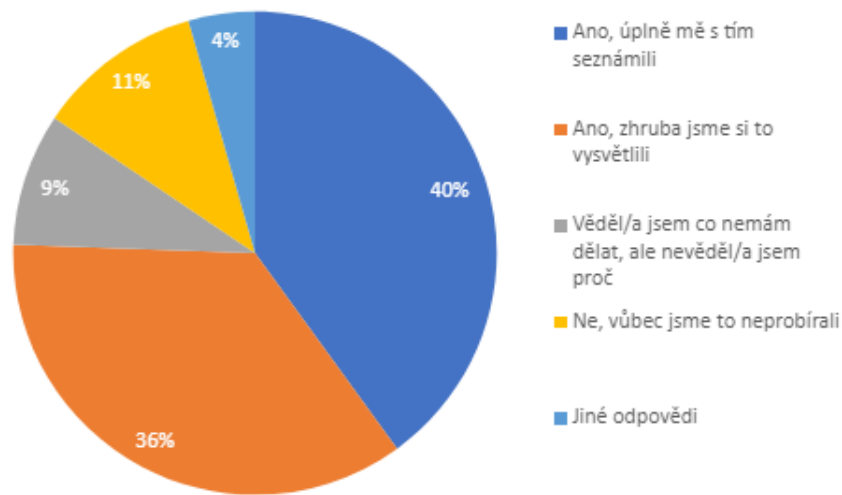
“Problém – snaha pilotů o co nejkratší doby vleků – stoupání na vysokém výkonu při nízké rychlosti, klesání bez výkonu na vysoké rychlosti.”

“Vlekání Zlínů (Trenéry a řada 40): vyšší IAS při stoupání, ve velkých teplech obohatit směs, při klesání stahovat pouze na 2000 ot, dále na 1500 ot a níže až v prostoru 3.- 4. zatáčky, veškerá manipulace s přípustí musí být plynulá, klesat s vyšlápnutou nohou (ve skluzu) - vyšší opadání a menší nápor chladícího vzduchu (zmenšuje tepelné cykly a zmenšuje možnost podchlazení 1. válce), přesvědčit se, že všechny otvory a žaluzie pro chlazení jsou plně otevřené, olejové chladiče čisté, nezanešené trávou atd. Pozorně sledovat teplotu hlav a případně zavčasu provoz přerušit.”

Je zřejmé, že provozovatelé tuto problematiku řeší a není jim lhostejné, jak se pilot v letadle chová a zda dodržuje režimy. To, jak to vidí piloti, bylo zjišťováno druhým dotazníkem.

2.2 Rozbor výsledků z dotazníku pro piloty

První otázka se snažila zjistit, zda mají piloti pocit, že je již v začátcích dostatečně o problematice poučili, odpovědi jsou v grafu 2.2.1. Samozřejmě toto hodnocení je velmi subjektivní. Piloti mohli být poučení dostatečně, ale nemusí podle toho měnit svoje návyky v praxi. Proto byly další otázky strukturovány takovým způsobem, aby šlo odhadnout, jaký mají piloti o dané tematice opravdu přehled.



Graf 2.2.1 Poučili Vás již v začátcích dostatečně o problematice přehřívání a podchlazování a nebezpečí s nimi spojenými?

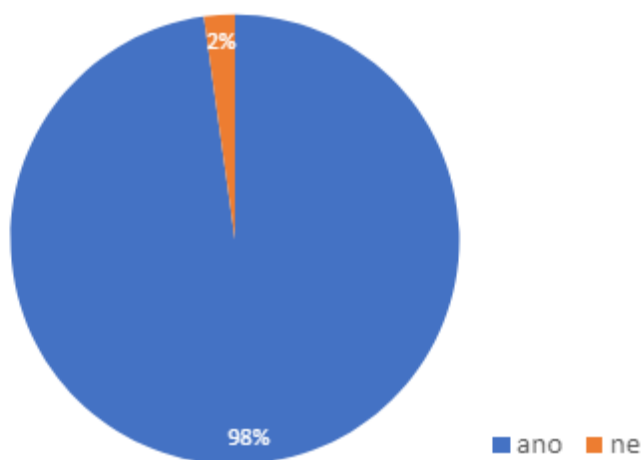
40 % pilotů má pocit, že je již v začátcích dostatečně poučili o přehřívání a podchlazování. 35,6 % z nich si myslí, že jim to bylo zhruba vysvětleno (úplné odpovědi jsou v přílohách).

Další otázka zněla, na jakém typu motorového letadla a s jakým motorem piloti začínali a zda si myslí, že je tento motor náchylný k poruchám zapříčiněným náhlými změnami teplot. 20 % pilotů si myslí, že motor, s kterým létají, není vůbec či skoro vůbec náchylný k poruchám zapříčiněným náhlými změnami teplot. Z těchto 20 % tvoří 90 % piloti motorů Rotax. Zajímavé je toto srovnat s odpověďmi z dotazníku pro provozovatele, kde byl jasně Rotax jmenován jako jeden z motorů, u kterého se s touto problematikou setkali. V 11 odpovědích z celkem 45 nebyl konkretizován daný motor v letadle. Důvody pro to mohou být různé. Piloti nemusí vůbec typ motoru znát nebo se jim nechtělo se více rozepisovat, možná si jen správně nepřčetli otázku. Zbytek pilotů si myslí, že motor náchylný k poruchám zapříčiněným náhlými změnami teplot je.

Další otázka byla zaměřená na znalosti pilotů. Nejprve měli napsat alespoň jednu situaci, v níž podle nich dochází k přehřátí motoru. Na tuto otázku většina pilotů odpověděla, pouze jeden se odpovědi zdržel. Nejčastějším důvodem přehřátí motoru byly dlouhé pomalé stoupání na velkou výšku, vlekní větroňů, vysoká okolní teplota, dlouhé poježdění a postávání na vyčkávací dráze. Mezi méně časté odpovědi patřily zavřené žaluzie, chudá směs, nekvalitní palivo, létání okruhů v létě, špatná údržba, nedostatek chladící kapaliny...

Poté měli piloti napsat, v jaké situaci podle nich může nastat podchlazení motoru. Nejčastější odpovědi byly náhlé stáhnutí přípusti na volnoběh a strmé klesání při vysoké rychlosti (typicky klesání vlečného letounu po odpojení kluzáku). V dalších odpovědích bylo zmíněno například otevřené chlazení, u motorových kluzáků pak lety do termiky, kde po nějakém času bez motoru spouští studený motor a hned ho ženou do výkonu, dále byly uvedeny nácvik nouzových letů, špatný rozpočet, provoz v zimě, zanedbaná údržba, nesprávná manipulace s klapkou atd. Dva piloti zmínili pouze zamrzání karburátoru.

Dále otázka zjišťovala, zda piloti po spuštění prohřívají motor. Výsledek byl zcela jednoznačný, pouze jeden respondent odpověděl negativně, jak lze vidět v grafu 2.2.2.



Graf 2.2.2 Prohříváte motor po nastartování?

Na předchozí dotaz navazovala otázka, jak dlouho respondenti motor prohřívají a zdali se tato doba podle něčeho mění. Nejčastěji bylo v odpovědích zmíněno – než se ohřeje, než dosáhne provozních teplot, nějaké časové rozmezí v rámci minut. Párkrát bylo uvedeno, že závisí na typu letounu a motoru a že záleží na provozní příručce. Jeden pilot napsal, že „neprohřívá, protože to provozovatel zaprvé nepožaduje, zadruhé sám nedělá.“ Další respondent napsal, že nedělá speciální prohřívání, protože si myslí, že stačí čas, kdy

poslouchá ATIS a nastavuje trať do GNSS. Pouze 21 z 45 pilotů odpovědělo na otázku, zda se tato doba podle něčeho mění. (venkovní teplota) Jeden napsal, že nemění. (nálet 30h). Prohřívání se nám mění dle venkovní teploty. V zimním období bude prohřívání delší, ale doba nutná pro ochlazování před vypnutím kratší. Naopak v letním období bude délka prohřívání kratší, ale doba ochlazování delší.

Piloti jsou si obecně do jisté míry vědomi této problematiky, ale v úrovni znalostí a braní této problematiky vážně jsou rozdíly. Záleží na letových či technických zkušenostech jednotlivce, na tom, jakým způsobem tuto problematiku učila a jaké postupy měla letecká škola či aeroklub, ve kterém si pilot dělal základní výcvik, a také na přístupu každého pilota. Snahou provozovatelů i pilotů by mělo být tyto znalosti ucelovat tak, aby se propady mezi vědomostmi pilotů zmenšovaly.

3. ROZBOR KONKRÉTNÍCH PŘÍPADŮ POŠKOZENÍ NA ZÁKLADĚ TEPELNÉHO PŘETĚŽOVÁNÍ – PŘÍČINY A DŮSLEDKY

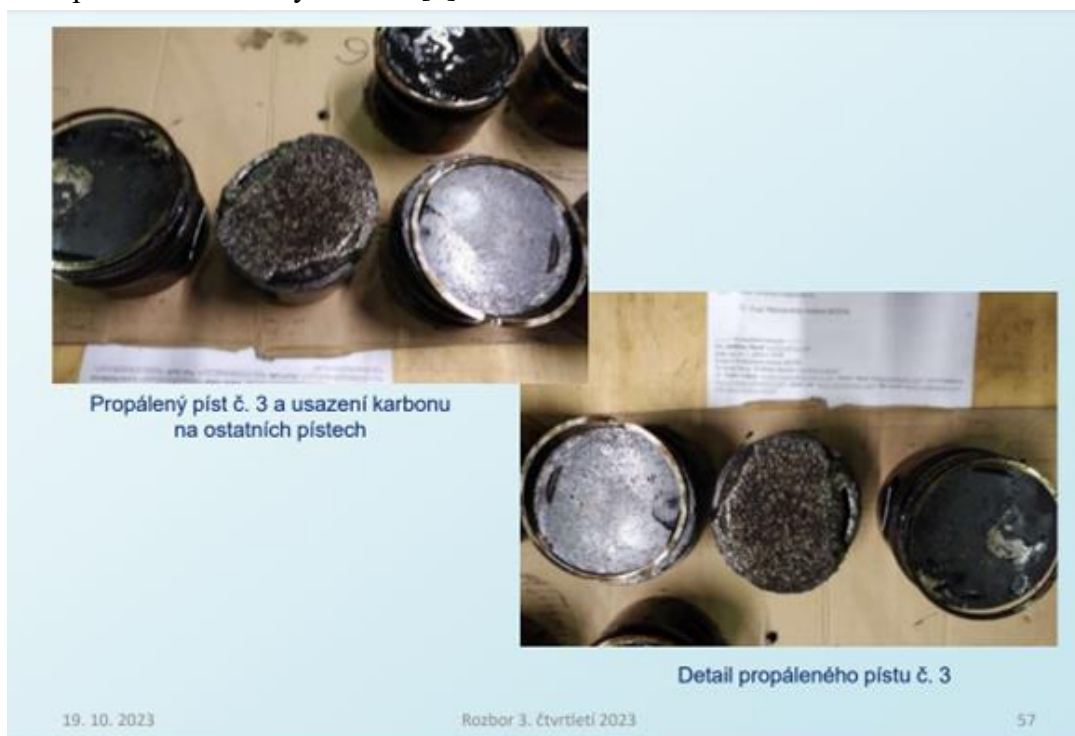
Incident zmiňovaný v Rozboru bezpečnosti za 3. čtvrtletí 2023

„Datum: 9. 7. 2023

Typ: Zlín Z-43 (OM-FOO)

Místo: LZOC (Očová)

- Organizace údržby oznámila událost související s poruchou motoru (M-337A).
- Letoun Zlín Z-43 během letu mezi třetí a čtvrtou okružovou zatáčkou začal vykazovat silné vibrace a motor začal ztrácet výkon.
- Z prostoru motoru rovněž v krátkých intervalech vycházel bílý dým.
- Pilot při malém výkonu motoru klouzavým letem přivedl letadlo nad práh dráhy a bezpečně přistál.
- Následné rozebrání a expertíza motoru letounu ukázaly, že příčinou uvedených problémů **bylo soustavné tepelné přetěžování motoru**, což vedlo k vyhřátí a ztrátě pevnosti materiálu pístů, poškození těsnosti ventilů a dalším mechanickým poruchám dotčených dílů“ [4].



Obrázek 3.1 Propálené písty

V tomto případě došlo z důvodu soustavného tepelného přetěžování k vynucenému přistání z důvodu silných vibrací.

V druhém případě se na opotřebení v důsledku šokového podchlazování přišlo až při periodické prohlídce letounu, kde byly nalezeny špony v olejovém filtru. Letoun byl primárně využíván v letecké škole a na běžný provoz.

**Událost v letovém provozu – šetření provozovatele
DODATEČNÉ ŠETŘENÍ**

Typ události: INCIDENT

Údaje o události

Typ: Incident
Kategorie: poškození letadla za letu
Místo: prostor Slezské Harty

Údaje o letu

Datum letu: --.10.2020
Místo vzletu / přistání: LKOL / LKOL
Druh letu: navigační let – kondiční navigační let
Podmínky: VFR / CAVOK

Údaje o letadle

Registrační značka: OK----
Typ: Cessna C172N
Výrobce: Cessna Aircraft Company, USA
Výrobní číslo / rok výroby: -----, r.v. 1979
Nálet - hodiny / vzlety: 5785h 45min / 12028

Letadlo – hodiny při poslední provedené údržbě:

Údržba v rozsahu / provedena dne: 200 HOD / 4.9.2020

Drak:

Celkový nálet: 5741,50 hod / 11873 přistání
ARC do -.7.2021, Annual do -.3.2021

Motor:

Cekový nálet od výroby: 3442,35 hod
Nálet od GO: 1200,10 hod, GO 2010

Vrtule:

Cekový nálet od výroby: 1200,10 hod
Nálet od GO: NOVA

Letadlo – hodiny / cykly (před vzletem):

Drak:

Celkový nálet: 5785,45 hod / 12027 přistání

Motor:

Cekový nálet od výroby: 3486.30 hod
Nálet od GO: 1244,05 hod, GO 2016

Vrtule:

Cekový nálet od výroby: 1244,05 hod
Nálet od GO: 1244,05 hod, GO 2016

Událost:

1) Během letu došlo k hlubokému a rychlému podchlazení válců, tzv. "šokové podchlazení" s následným poškozením motoru.

2) Poškození motoru bylo zjištěno až na pravidelné periodické údržbě v CAMO organizaci v říjnu 2020.

Průběh letu:

Letoun je schválen pro lety IFR a je vybaven odpovídačem v módu S Bendix King KT73 A/C/S.

Průběh letu byl zaznamenán dle záznamu ŘLP ČR z výnosu sekundárního radaru, kde jsou standardně zaznamenávány údaje po časovém intervalu 3 sekundy.

Tento záznam letu je tedy jednoznačný a dostatečně přesný pro rekonstrukci průběhu letu a získání všech potřebných údajů k nalezení příčiny incidentu.

Navigační – kondiční let po trase letiště Olomouc LKOL – na letiště Olomouc LKOL. Navigační let do prostoru severně od Olomouce nad Libavu, Slezskou Hartu, vodní nádrž Kružberk a dále směrem na Vítkov Hranice a zpět na letiště Olomouc.

Po vzletu z LKOL letoun stoupal směrem N rychlostí 60 kt do 3000 ft a pokračoval směrem na Slezskou Hartu (kurz 360 – 020) rychlostí 90 – 100 kt na této výšce. Pak zahájil stoupaní na 5000 ft. Po jejich dosažení zrychlil na 110 – 120 kt. V prostoru Slezské Harty letoun ještě dostoupal na 5200 ft.

Při udržení stejné rychlosti byla nad Slezskou Hartou provedena zatáčka vpravo do kurzu cca 120 (S/E). Zde letoun dosáhl rychlosti 130 kt a zároveň bylo zahájeno pozvolné klesání do 4800 ft. Na této výšce začal letoun zpomalovat a po dosažení rychlosti 70 kt bylo zahájeno klesání na nízké rychlosti.

Zápis průběhu letu dle záznamu ŘLP Č.R. - čas / rychlost / výška je přiložen v přílohách. Záznam byl vyhotoven na žádost provozovatele. Zápis letu je proveden tak, že jsou zaznamenány pouze změny v letu. Na základě zaznamenaných výšek a rychlostí letu, rychlosti jejich změn s následným sestupem na nízkých dopředných, avšak vysokých vertikálních rychlostech je patrné, jakým způsobem byl motor podchlazen.

Souhrn změn letového režimu, které vedly k poškození motoru

V čase 11.05.00 byla zahájena změna letového režimu letounu z letu na maximální cestovní rychlosti ve výšce 5200 ft.

V čase 11.15.50 zpomalení na 120 kt a vyklesávání 400 ft. Sestup 400 – 500 ft/min při současném zpomalení dopředné rychlosti.

V čase 11.05.50 bylo zahájeno zpomalení letounu ze zaznamenaných 120 kt na 70 kt.

V čase 11.06.20 bylo dosaženo rychlosti 70 kt. V tuto chvíli byl stabilizován sestup na nízkém výkonu motoru.

V čase 11.09.20 byl ukončen sestup a přejito do letu v horizontu na výkonu motoru na cca 3 min (není záznam výšky) a následně pokračováno v sestupu na nízké rychlosti až do výšky 2000 ft.

Rozbor změny letového režimu:

Při zahájení sestupu z výšky 5200 ft je patrné, že letoun klesal a zároveň postupně zpomaloval. Byl tedy výrazně snížen výkon motoru, a to tak, že letoun snižoval svoji rychlost, přestože byl v klesání.

Z režimu maximálního trvalého výkonu bylo přejito do sestupu bez výkonu motoru při následném zpomalení na 70 kt.

čas 11.05.00	rychlost 130 kt	výška 5200 ft
--------------	-----------------	---------------

čas 11.06.20	rychlost 70 kt	výška 4800 ft
--------------	----------------	---------------

- za 1 min 20 sec letoun

- zpomalil z maximální cestovní rychlosti 120 – 130 kt na 70 kt
- při tom vyklesal 400 ft

Dosažení těchto letových parametrů odpovídá snížení výkonu na úroveň vyššího volnoběhu. Zde byl motor, do této chvíle pracující v režimu maximálního výkonu, a tedy za nejvyšších provozních teplot, prudce ochlazen "šokovým podchlazením" s následným poškozením motoru...

Sestup by proveden z výšky 4800 ft do výšky 2900 ft, po celou dobu byla udržována rychlost mezi 70 a 60 kt.

čas 11.06.30	rychlost 70 kt	výška 4800
--------------	----------------	------------

čas 11.09.10	rychlost 70 kt	výška 3000
--------------	----------------	------------

čas 11.09.20	rychlost 90 kt	výška 2900
--------------	----------------	------------

- sestup trval 2 min 50 sec
- sestup byl proveden o 1900 ft
- vertikální rychlostí 680 ft / min

Dosažení těchto letových parametrů odpovídá po celou dobu udržení sníženého výkonu na úroveň vyššího volnoběhu. Po tento čas byl motor nadále hluboce podchlazován [5].



Obrázek 3.2 Část olejového filtru se šponami z motoru



Obrázek 3.3 Pístní čep, který odíral válec



Obrázek 3.4 Detail poškozeného válce



Obrázek 3.5 Detail poškozeného pístu

4. SOUHRN PROBLEMATICKÝCH TEPLOTNÍCH REŽIMŮ MOTORŮ A DOPORUČENÍ VÝROBCŮ MOTORŮ O ROZDÍLNÝCH CHARAKTERISTIKÁCH

V této kapitole budou porovnávány různé motory a doporučení od výrobců. Výběr byl zhotoven na základě četnosti uváděných motorů v dotazníku a obecně často používaných motorů pro všeobecné letectví v České republice.

Jestli piloti důkladně čtou příručky a doporučení a poté je dodržují, nelze snadno určit, ale je to základní předpoklad pro správné pilotování jakéhokoliv letounu. Velké rozdíly mezi piloty jsou v oblasti technické zdatnosti a základního přehledu o fungování motoru, což může drasticky ovlivnit respekt k dodržování těchto doporučení. Nevědomost problematiky je ideální pro neúmyslné poškození. Proto by bylo v zájmu každého pilota, aby nejen četl a dodržoval letovou příručku, ale zároveň se i neustále vzdělával ze všemožných zdrojů a udržel si logické a kritické myšlení.

První tři zmíněné motory jsou motory chlazené vzduchem. Množství doporučení se i přesto liší. Poslední motor je motor chlazený kombinací kapaliny a vzduchu.

4.1 Zlín Z-226 MS – M137 A

Jedná se o šestiválcový plně akrobatický motor bez kompresoru (viz obr 4.1.1). Motor je chlazen proudem vzduchu, přiváděným za letu velkým otvorem v čele motorového krytu do plechové jímky vzduchu připevněné na motoru podél válců, odkud je usměřován plechovými usměřovači k proudění mezi žebry hlav a válců. [6] Údaje o mezních stavech motoru jsou v tabulce 4.1.1.



Obrázek 4.1.1 Motor M137 A

Tabulka 4.1.1 Přehled mezních stavů motoru M137 A vybrané z příručky od výrobce [7]

Nejvyšší přípustná teplota hlav válců (měřená pod svíčkou na straně sání)	210 °C (max. 5 min)
Minimální teplota hlav válců při sestupu	70 °C
Nejvyšší teplota oleje	85 °C
Maximální vzletový výkon	2750 ot/min +- 3 % (5 min)
Maximální trvalé otáčky	2680 ot/min
Používané palivo	Letecký benzin
Objem	5,97 l
Vzletový výkon	133kW

Doporučení od výrobce vybrané z příručky [7]:

- Při teplotách vnějšího vzduchu pod 5 °C se musí ohřát olej v olejové nádrži a motor vhodným zařízením.
- Ohřívání motoru
 - 1000 ot/min. 2-5 min (dle teploty vnějšího vzduchu)
 - 1500 ot/min. po dobu nutnou pro ohřátí motoru pro motorovou zkoušku – dosažení “žlutých oblouků”
- Upozornění: při nízkých teplotách vnějšího vzduchu ohřívát motor delší dobu tak, aby byl dosažen předepsaný provozní tlak oleje 350-400 kPa při teplotě oleje min. 40-50 °C.
- Při ohřívání motoru se vyhněte otáčkám, při kterých jde motor “TVRDĚ” nebo se “TŘESE”.
- Motorovou zkoušku provádět proti větru.
- Při stoupání nad 1500mMSA obohatit směs ovládací pákou korekce dle potřeby.
- Klesne-li teplota hlav válců pod 70 °C, zvýšit přípust' motoru a ohřát hlavy válců.
- Před přistáním teplota hlav válců min. 100 °C.

Jde o původně cvičný vojenský akrobatický letoun, který je v dnešní době hojně využíván jako vlečný letoun pro kluzáky. Letadlo, příručky i s nimi spojené periodické prohlídky jsou vytvářeny speciálně pro každý typ letounu podle účelu, ke kterému je konstruován. Tento letoun byl navržen na relativně krátkou životnost v porovnání s malými turistickými letouny pro všeobecné letectví jako například Cessna 172. Limity v jeho příručce odpovídají těmto faktům. Příručka stanovuje především limitní hodnoty, které zaručují, že pokud je dodržíme, tak letoun vydrží až do příští prohlídky, a i pokud tam porucha je, na prohlídce bude objevena. Pokud ovšem letoun či motor přesáhne tyto limitní hodnoty, riskuje se tím nadměrné opotřebení až porucha a nouzový stav. Ve zmíněné příručce není mnoho informací, jak zabránit přílišnému chlazení, či přehřívání při letu.

Jedno z mála omezení hovoří o minimální teplotě hlav válců na úrovni 70 °C a minimální teplotě hlav válců před přistáním ve výši 100 °C. Pro tuto teplotu máme v letounu ukazatel teploty válců, pro něj je zdrojem termočlánků na 4. válci směrem od vrtule. Takže pokud nám na čtvrtém válci ukazuje teplotu 100 °C, na prvním válci může být teplota výrazně nižší v důsledku většího náporu chladnějšího vzduchu. Pokud si toto pilot či provozovatel neuvědomuje a podle toho nevytvoří své přísnější postupy, které musí piloti dodržovat, tak se může motor podchlazovat bez jejich vědomí. Ze zkušeností leteckého technika je nadměrné podchlazování u tohoto letounu s šestiválcovým řadovým motorem častý problém. Mezi obvyklou poruchou v tomto případě patří prasklý blok motoru z důvodu vzniku kroutícího momentu mezi podchlazenými předními a zadními válci stále na provozních teplotách. Toto je nevýhoda řadových šesti válcových motorů, jelikož jsou delší a tím pádem náchylnější na tento druh namáhání nežli dále zmiňované čtyřválcové motory.

4.2 DR400/180 ROBIN - O-360-A3A Lycoming

Horizontální čtyřválcový motor s přímým pohonem, vzduchem chlazený, s karburátorem viz obr. 4.2.1. Údaje o mezních stavech motoru jsou v tabulce 4.2.1.



Obrázek 4.2.1 O-360-A3A Lycoming

Tabulka 4.2.1. Přehled mezních stavů motoru Lycoming O-360-A3A vybraný z příručky od výrobce [8]

Nejvyšší přípustná teplota hlav válců	260 °C
Nejvyšší teplota válců	160 °C
Nejvyšší teplota oleje	118 °C
Minimální teplota oleje	40 °C
Maximální přípustné otáčky	2 700 ot./min
Maximální trvalé otáčky	2 600 ot./min
Používané palivo	Natural 95 nebo AVGAS 100LL
Objem	5,9 litru
Výkon	134kW, 180 k

Doporučení od výrobce vybrané z příručky [8]:

- Pojízďení – nepřekračujte 1200 otáček, dokud se teplota oleje nachází ve žlutém.
- Nejlepší úhel stoupání – tento způsob stoupání používat pouze výjimečně kvůli špatnému chlazení motoru.
- Neochuzujte směs příliš mnoho – příliš chudá směs způsobuje přehřívání motoru. **VŽDY OBOHATĚTE SMĚS PŘED PŘIDÁNÍM VÝKONU.**
- Při klesání každých 1500 ft (450 m) přidejte plyn pro zabránění přílišnému ochlazování motoru a pročištění zapalovacích svíček.
- Vypnutí motoru – otáčky – 950 ot/min, EGT pod minimální hodnotu.
- Postupy při vlečení kluzáků – sestup: nestahovat pod 2500 otáček pro zabránění příliš rychlého ochlazení.

V této příručce se probírají postupy na zemi – po spuštění, před vypnutím a i všechny fáze letu – stoupání, cestovní let i klesání.

„Ze zkušeností provozovatele také vyplynulo, že může při dlouhodobém provozu letounu ve vyšších otáčkách a za venkovních teplot vyšších než 20 °C dojít ke zvýšené teplotě oleje, typicky při vleku kluzáků v letních dnech [9].”

4.3 L 13 SW VIVAT – Walter Mikron IIIS/A

Všechny verze motoru Mikron jsou zážehové, čtyřdobé, vzduchem chlazené invertní čtyřválcové (viz obr. 4.3). Motor je vybaven spádovým karburátorem. Údaje o mezních stavech motoru jsou v tabulce 4.3.1.



Obrázek 4.3 Walter Mikron III A

Tabulka 4.3.1 Přehled mezních stavů motoru Walter Mikron III vybraný z příručky od výrobce [10]

Nejvyšší přípustná teplota hlav válců	260 °C (5 min)
Minimální teplota hlav válců	70 °C
Nejvyšší teplota oleje	120 °C
Min teplota oleje	40 °C
Maximální přípustné otáčky	2600 ot/min
Maximální trvalé otáčky	2600 ot/min
Používané palivo	Letecký benzín, automobilový benzín
Objem	2,44 l
Vzletový výkon	48 kW/65 k

Doporučení od výrobce vybrané z příručky [10]:

- Při poklesu teploty vnějšího vzduchu pod 5 °C je vhodné prohřát motor a olejovou instalaci teplým vzduchem.
- Ohřev motoru – zpočátku na 1000 ot/min po dobu asi 2 minut, potom zapněte jistič generátoru (je-li instalován) a zvyšte otáčky na asi 1500 ot/min. Motor zahřívejte, dokud teplota oleje nedosáhne 40 °C a teplota hlavy válce 120 °C.
- Motorovou zkoušku provádějte proti větru.
- V případě hrozícího zvýšení teplot hlav válců a oleje nad provozní omezení zvyšte rychlost letu snížením stoupání tak, aby byla dosažena provozní omezení.
- Překročí-li teplota hlav válců doporučené provozní hodnoty vlivem zavřené klapky chlazení, pak nikdy neotevírejte klapku chlazení náhle. Nejprve snižte výkon motoru stažením přípusti a teprve po ochlazení na doporučené teploty klapku chlazení pozvolna otevřete.
- Motor zastavujte při teplotách hlav válců nižších než 160 °C. Pokud při vysokých teplotách vnějšího vzduchu nelze motor ochladit, je možné použít pro zastavení motoru zavření palivového kohoutu a vytažení sytiče.

V této příručce není zmíněno podchlazování na sestupu. Motor je specifický pro svou klapku chlazení. Ze zkušenosti pilota plyne, že když tuto klapku zapomene při vzletu otevřít, může cítit přehřívání motoru až do kabiny.

4.4 Eurostar – Rotax 912 UL

V tomto případě jde o standardně čtyřválcový čtyřtaktní motor ROTAX viz obr. 4.4.1 s protilehlými válci, centrální vačkovou hřídelí a rozvodem OHV. Chlazení je kombinované, hlavy válců jsou chlazeny vodou, válce jsou chlazeny vzduchem. Motor má mazání se suchou klikovou skříní a olejovou nádrží a dvěma karburátory. [11] Údaje o mezních stavech motoru jsou v tabulce 4.4.1.



Obrázek 4.4.1 Rotax 912 UL

Tabulka 4.4.1 Přehled mezních stavů motoru Rotax 912 UL vybraný z příručky výrobce [11]

Nejvyšší přípustná teplota hlav válců	150 °C
Minimální teplota hlav válců	60 °C
Nejvyšší teplota oleje	140 °C
Minimální teplota oleje	50 °C
Maximální vzletové otáčky	5800 ot/min max. 5 min.
Maximální trvalé otáčky	5500 ot/min
Používané palivo	Natural 95
Objem (zdvihový)	1,21 l
Vzletový výkon	59,6 kW / 80 hp.

Doporučení od výrobce vybrané z příručky [11]:

- Ohřívání začněte při běhu motoru na 2000 ot/min., pokračujte při 2500 - 2750 ot/min. Doba trvání ohřevu závisí na okolní teplotě, dokud teplota oleje nedosáhne 50°C.
- Pozemní zkoušku provádějte proti větru.
- V případě zvýšených teplot hlav válců nebo oleje nad provozní omezení zvyšte rychlost letu snížením stoupání tak, aby provozní omezení byla dodržena.
- Při dlouhém finále a při klesání z velké výšky není vhodné stáhnout přípusť na minimum z důvodu možného podchlazení motoru a následné ztráty výkonnosti. Klesání provádějte na zvýšeném volnoběhu a kontrolujte dodržení povolených hodnot na motorových přístrojích.
- Při provozu je třeba vyloučit rychlé ochlazení motoru. K tomu dochází zvláště při sestupu letounu při pojíždění na zemi a nízkých otáčkách motoru nebo při vypnutí motoru okamžitě po přistání.
- Za normálních podmínek se teploty motoru během klesání a pojíždění ustálí tak, že jsou vhodné pro zastavení motoru vypnutím zapalování; v případě potřeby lze před vypnutím motoru udržovat otáčky v rozmezí 2500 - 2750 ot/min, dokud se nestabilizuje teplota motoru.

V této příručce lze nalézt doporučení po spuštění, při stoupání i sestupu a před vypnutím.

Tento motor v porovnání s předchozími má velice malý zdvihový objem - 1,2 l. To je cca pětkrát méně nežli výše zmíněné motory, přitom spotřeba mototru Rotax 912 UL pětkrát menší není. Na tomto motoru pilot bohatost neovládá, tudíž odpadá možnost přílišného ochuzení motoru a s ním spojená rizika, ale i výhody, jež mohou být při správné manipulaci získání vyššího výkonu, menší spotřeby a šetření součástí motoru. Rotax 912 UL je navržený přímo na všeobecné létání a pro dlouhou životnost. V motorech Rotax je v porovnání s například dříve jmenovaným motorem Lycoming 360 v motoru více prvků. Je o to složitější a náchylnější k poruchám.

Ze zmíněných doporučení lze snadno vyvodit, které situace a režimy jsou na tuto problematiku nejkritičtější a v kterých okamžicích si musí dávat pilot obzvláště pozor. Když se k tomu ještě přidají doporučení od pilotů s desítkami let zkušeností, vznikne vcelku krátký, ale multifunkční návod, jak se k motorům chovat. Bylo by vhodné dodržovat tento souhrn doporučení z následující kapitoly, ať už má letoun motor jakýkoliv.

Piloti by v první řadě měli dodržovat doporučení a limity sepsané v příručce přímo pro motor, se kterým létají, ale na situace, které příručka třeba popsané nemá, může být dobré si pamatovat těchto pár základních návrhů na šetření životnosti motoru.

5. SOUHRN DOPORUČENÍ (GOOD PRACTICES) PRO PILOTY O ZPŮSOBECH, JAK ŠETRNĚ ZACHÁZET S MOTOREM

5.1 Doporučení pro piloty pro šetření životnosti motoru

Před spuštěním

- V zimním období nahřát vhodným přímotopným zařízením.
- Postavit letoun proti větru. Motory jsou obecně konstruovány na to, že je vítr ofoukává zepředu. U letounů chlazených kapalinou je toto třeba méně než u motorů chlazených vzduchem, ale vždy je lepší motor postavit proti větru.

Po spuštění

- Nespěchat a nechat zahřát motor na provozní teploty oleje a hlav válců sepsané v letové příručce.

Při pojíždění

- Už mít olej prohřátý na provozní teploty.
- Na motorovou zkoušku být proti větru.
- Chladicí klapky či žaluzie jsou při pojíždění a vzletu otevřené poloze, aby se zvýšil objem vzduchu procházející motorem [2].
- Nepoužívat vyšší než nutné otáčky na pojíždění.

Stoupání na plném výkonu

- Vyhnout se dlouhému stoupání, obzvláště v horkých dnech, na rychlosti blízké V_x/V_y a místo toho raději volit stoupání na rychlosti blízké cestovní, pro větší průtok vzduchu (pro zajištění většího chlazení) [12].
- Pokud výrobce omezuje výkony motoru časovým intervalem, nestoupat pomalou rychlostí na maximálním trvalém výkonu motoru déle jak příslušný stanovený čas od výrobce.

Cestovní let

- Na cestovní let by měla být směs ochuzena dle správných postupů a během klesání z cestovní hladiny by měla být postupně obohacována. Ochuzení směsí, udržování určených výkonů a rozumné rychlosti by mělo zajistit co nejefektivnější teplotu motoru [2].
- Celkově se vyhýbat prudkým teplotním změnám, zvětšuje se tím pnutí a vnitřní namáhání materiálů a vznikají mikropraskliny.

Klesání

- Maximální doporučená změna teploty je 50°F (10 °C) za minutu, aby se zabránilo šokovému ochlazení válců [2]. V případě dlouhého klesání je vhodné tento proces provádět pozvolna.
- Piloti by se měli vyhýbat rychlému klesání při nízkém výkonu [2].

Před vypnutím

- Chladit potřebnou dobu k dostatečnému snížení teplot motoru.

Obecně

- „Piloti musí plánovat své letové operace tak, aby se vyhnuli **potencionálnímu poškození způsobenému náhlým ochlazením motoru.** [2]“
- **Být obeznámen/a s letovou příručkou daného letounu.**

5.2 Postupy při přehřívání nebo podchlazování

„Doporučený postup při přehřívání motoru:

- *plně otevřít klapky chlazení či žaluzie (zvýšení průtoku chladicího vzduchu)*
- *zvýšení rychlosti (pro intenzivnější chlazení)*
- *snížení výkonu (vzniká méně tepla)*
- *mírně obohatit směs (přebytek paliva odpařením sníží teplotu válců a hlav)*

Doporučený postup při hrozícím podchlazení motoru:

- *mírně zvýšit výkon motoru (motor se znovu prohřeje)*
- *zmírnit úhel klesání (snížení rychlosti zmenší intenzitu chlazení)*
- *přivřít nebo uzavřít klapky chlazení či žaluzie (zmenšení průtoku chladicího vzduchu)*

Poznámka: U některých letadel je vrtulový klobouk nedílnou součástí chladicího systému, neboť usměrňuje vzduch do vstupních otvorů vzduchu chlazení. Tato letadla nesmějí být bez vrtulového klobouku provozována“ [1].

6. ZKUŠENOSTI OD LETECKÝCH TECHNIKŮ

Na vlastní zkušenosti byli dotázáni tři letečtí technici z různých firem. Odpovědi se s malými odchylkami shodovaly. Zde je souhrn z rozhovorů:

Poruchy na základě nadměrného tepelného namáhání se vyskytují na všech typech letadel a motorů, ale zejména na těch, které jsou vystaveny extrémnímu namáhání, což je například vleč kluzáku do termiky nebo paraprovazy (na plný plyn nahoru, kousek nebo žádný horizontální let a ihned dolů).

Při každém sestupném letu je vzduchem chlazený motor více či méně podchlazen. To nevádí, pokud pilot postupuje v souladu s příručkou letounu. Přehřátí motoru může mít za následek úplnou devastaci motoru během krátké doby (například během stoupání), podchlazení zpravidla vede ke zvýšenému opotřebení, ale nebývá důvodem ke kolapsu motoru. Obě krajní meze teplot ovlivňují životnost. Pro představu – správně provozovaný motor Lycoming O 320 na C 172 vydrží 2000 Lh do GO. Motor, který je provozován často v krajních mezích, se opotřebí podstatně dříve (1/2 resursu (doba, mezi opravami pohonné jednotky), ale také jen 1/3 resursu).

Největší síly a teploty působí v oblasti válce, pístu a ventilů a na ně navazují ojnice, tyto části bývají nejčastěji poškozeny při extrémním provozu. Kartery (kliková skříň motoru) jsou zatíženy menšími cyklickými a teplotními silami, u nich se projevuje postupné praskání (rozvoj trhliny). To má však pomalý průběh a je to snadno identifikovatelné.

Které vzduchem chlazené motory jsou náchylnější na poruchy (čtyřválcové nebo šestiválce)? Obecně platí, že dobře udělaný motor dokáže pracovat spolehlivě, zejména pokud je správně provozován. Například čtyřválcové O 320 jsou tak dobře zvládnuté v zástavbě C172, že nevyžadují ani teploměr hlav, a to přesto, že jsou vybaveny ochuzovačem směsi (chudá směs = větší teplota hoření). Šestiválce jsou většinou vybaveny teploměrem hlav, protože mívají klapku chlazení. Když byl provozován paraprovaz s C182 se šestiválcovým Continentalem, byla pracnost na udržení takto zatíženého motoru v provozu mnohem vyšší než při provozu C 172 pro běžné létání.

ZÁVĚR

V této práci byla popsána problematika podchlazování a přehřívání, byl zhodnocen přístup provozovatelů a pilotů na základě uskutečněného průzkumu, shrnuly se doporučené postupy výrobců letounů a motorů, byly popsány reálné situace z provozu, byly navrženy doporučené postupy pro piloty a došlo ke konzultacím s leteckými techniky.

V případě nouzových situací je tato problematika náhlých tepelných změn neřešitelná. Šetření motoru musí jít stranou a pilot se stará doslova pouze o přežití.

V běžném provozu ovšem tyto stavy omezit lze. Příručka popisuje limitní hodnoty, které se nesmí překračovat. Je na konkrétním provozovateli, aby si nastavil režimy a postupy pro každý letoun. Takové postupy by měly co nejvíce přihlížet k tomu, k čemu byly letoun a motor navrženy a na jaký provoz bude daný letoun využíván a podle toho je přizpůsobit. Tak může dojít k prodloužení životnosti motoru. Také existují záznamová zařízení pro letecké motory, určená k monitorování motorových parametrů a případnému upozornění na překročení jejich limitů. Ačkoliv v GA tolik rozšířené nejsou, pro tepelně náročné provozy by mohly být žádoucí.

Stěžejní je poučit piloty již v začátcích a dbát na dodržování podstatných zásad po celou dobu výcviku. Je ovšem nezbytné zmínit, že v průběhu výcviku leží zodpovědnost v otázce dodržování provozních hodnot výhradně na instruktorovi. Podstatnou roli hraje rovněž zavedení pravidelných ročních školení zaměřených na tuto oblast, pomáhají totiž i zkušeným pilotům udržet znalosti a povědomí o dané problematice.

Úplný základ je mít každý let naplánovaný dopředu, aby nenastávaly situace, kdy najednou potřebujeme náhle prudce měnit letový režim. Je pak na každém konkrétním pilotovi, jak se k tomuto pohledu na zkoumanou problematiku postaví.

LITERATURA

- [1] SOUKUP, Ing. Petr. LETADLOVÉ MOTORY [PDF]. CENTRAL EUROPEAN AIR NAVIGATION TRAINING AND CONSULTING CENTRE TM, 1999.
- [2] How to avoid sudden cooling of your engine [online]. 2 [cit. 2024-04-27]. Dostupné z: <https://www.lycoming.com/content/how-avoid-sudden-cooling-your-engine>
- [3] SYRACUSE, Vic. Cooling things down [online]. [cit. 2024-04-27]. Dostupné z: <https://inspire.eaa.org/2021/12/14/cooling-things-down/>
- [4] UZPLN.CZ. Rozbor bezpečnosti za 3. čtvrtletí 2023 [online]. [cit. 2024-04-27]. Dostupné z: <https://uzpln.cz/pdf/20231206150815.pdf>
- [5] Anonymní zdroj
- [6] TECHNICKÝ POPIS A NÁVOD K OBSLUZE MOTORŮ M 337A,AK, M 332A,AK, M 137A,AZ, M 132A,AK. [online]. LOM s.p., Praha 10-Malešice, Česká republika, 1998 [cit. 2024-05-03]. Dostupné z: <https://pistovemotory.s8.cdn-upgates.com/y/y5b0d108796da9-technicky-popis-a-navod-k-obsluze-motoru-rev02-2018-05.pdf>
- [7] Letová příručka Z 226 MS [PDF]. 1986. AEROTECHNIK.
- [8] Letová příručka Robin DR400/180 [PDF]. Gomolzig Flugzeug und machinenbau
- [9] VRÁNA, Michal. Záznamové zařízení leteckého motoru [online]. [cit. 2024-04-27]. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=256238
- [10] Letová příručka pro motorový kluzák L 13 SW [PDF]. EVEKTOR – AEROTECHNIK, 1999.
- [11] LETOVÁ PŘÍRUČKA PRO ULTRALEHKÝ LETOUN EV-97 model 2000, verze R [PDF]. EVEKTOR – AEROTECHNIK, 2000.
- [12] Hot weather engine cooling [online]. [cit. 2024-04-27]. Dostupné z: <https://www.principalair.ca/article%20-%20hot%20weather.htm>

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

ARC	Airworthiness Review Certificate
ATIS	Automatic Terminal Information Service
CAMO	Continuing Airworthiness Management Organization
CAVOK	Ceiling And Visibility OK
E	East
EGT	Exhaust Gas Temperature
Ft	Feet
GA	General Aviation
GNSS	Global Navigation Satellite System
GO	Generální oprava
IAS	Indicated Airspeed
IFR	Instrument Flight Rules
Kt	Knots
LKOL	Letiště Olomouc
MP	Manifold Pressure
N	North
OHV	Overhead Valve
ŘLP	Řízení letového provozu
S	South
TOW	Takeoff Weight
VFR	Visual Flight Rules
VLP	Vedoucí letového provozu