



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Kateřina Aulická

**NÁVRH INSPEKČNÍHO PROGRAMU KRITICKÉHO
DÍLU PEJ AI-9V**

Bakalářská práce

2018

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

d ě k a n

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



K621..... Ústav letecké dopravy

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Kateřina Aulická

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – TUL – Technologie údržby letadel

Název tématu (česky): **Návrh inspekčního programu kritického dílu PEJ
AI-9V**

Název tématu (anglicky): The Concept of Critical APU Part Inspection Program

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Popis víceúčelového vrtulníku Mi-17
- Popis vybraného kritického dílu a jeho modifikace
- Návrh nové modifikace vybraného kritického dílu
- Návrh nového inspekčního programu a NDT metod
- Porovnání současného a nového programu



Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího bakalářské práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: KREIDL, M. a R. ŠMÍD. Technická diagnostika: senzory, metody, analýza signálu. Praha: BEN, 2006.
ADAMEC, J. a J. KOCÁB. Letadlové motory. Vyd. 2. Praha: Corona, 2008.
RŮŽIČKA, M. Pevnost a životnost letadel. Praha: České vysoké učení technické, 2000.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jiří Pavlas
Ing. David Hůlek

Datum zadání bakalářské práce:

20. října 2017

(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce:

27. srpna 2018

- a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia



Ing. Jakub Kraus, Ph.D.
vedoucí
Ústavu letecké dopravy

prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Kateřina Aulická
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 20. října 2017

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této práce. Zvláště pak děkuji Ing. Jiřímu Pavlasovi, Ing. Jiřímu Odstrčilovi, Ing. Marii Rohlové a Ing. Miroslavu Peterkovi za odborné vedení a za rady, které mi poskytovali při psaní této bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat panu Ing. Davidu Hůlkovi za cenné připomínky a rady, které mi poskytoval po dobu mého závěrečného roku studia a při psaní bakalářské práce. V neposlední řadě je mou milou povinností poděkovat svým rodičům, svému příteli a blízkým za morální a materiální podporu, které se mi dostávalo po celou dobu studia.


Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 23. 8. 2018



.....

podpis

Abstrakt

Předmětem bakalářské práce "Návrh inspekčního programu kritického dílu PEJ AI-9V" je zhodnotit aktuální stav kontroly vnějšího pláště kompresoru a pokusit se navrhnout nový inspekční program, který zajistí dřívější odhalení trhlin a deformací. Tato práce byla zvolena na základě objevujících se defektů a trhlin na vnějším plášti kompresu na zadní přírubě. V první kapitole je uveden stručný popis víceúčelového vrtulníku Mi-17, pomocné energetické jednotky AI-9V a hlavních motorů TV3-117, které spouští PEJ pomocí vzduchového spouštěče. V dalších kapitolách je již zaměřeno na popis kritického dílu a jeho opravy. V závěru bakalářské práce se porovná současný a nově navrhovaný program, určí se jejich účinnost, finanční náročnost a realizovatelnost.

Abstract

The subject of the bachelor thesis "The concept of critical APU part inspection program" is to evaluate the current state of inspection of the compressor casing and to try to make a concept of a new inspection program that will ensure earlier detection of cracks and deformations. This thesis was chosen based on emerging defects and cracks on the rear flange of the outer compressor casing. In the first chapter there is a brief description of a multipurpose helicopter Mi-17, auxiliary power unit AI-9V and the main engines TV3-117, that are started by an air starter of AI-9V. In next chapters there is a description about the critical part and its repairs. In the end of the bachelor thesis there will be a comparison between the current inspection program and the new concept, to determine effectiveness, financial difficulty and feasibility of each of them.

Klíčová slova

PEJ, motor, plášť kompresoru, NDT, kontrola, trhliny, defekty

Key words

APU, engine, compressor casing, NDT, inspection, cracks, defects

Obsah

Seznam použitých zkratek.....	7
Úvod	8
1. Popis víceúčelového vrtulníku Mi-17	9
1.1. Popis turbohřídelového motoru TV3-117	10
1.2. Popis spouštěcího motoru AI-9V	12
1.2.1. Popis hlavních částí motoru	13
1.2.2. Popis funkce motoru.....	14
2. Popis vybraného kritického dílu.....	16
2.1. Geometrie	17
2.2. Materiál	17
2.3. Zatížení	18
2.4. Projevy únavového poškození.....	18
3. Popis současného inspekčního programu a NDT metod	20
3.1. Popis současného inspekčního programu	20
3.1.1. Předletové a poletové prohlídky	20
3.1.2. Generální oprava.....	21
3.2. Popis postupu opravy	22
3.3. NDT metody	23
3.3.3. Vizuální metoda.....	24
3.3.4. Kapilární metoda	24
4. Určení vlivů ovlivňujících životnost kritického dílu	26
4.1. Materiál	26
4.2. Vliv svařování na vlastnosti materiálu.....	29
4.2.1. Svařování metodou TIG	29

4.2.2.	Parametry svařování při opravě vnějšího pláště	30
4.3.	Povrchová ochrana vnějšího pláště	31
4.4.	Vlivy na motor.....	32
4.4.1.	Vývoj.....	32
4.4.2.	Výroba	32
4.4.3.	Údržba motoru.....	32
4.4.4.	Provoz a pravidelné intervaly údržby v provozu.....	33
5.	Návrh nového inspekčního programu a NDT metod	34
5.1.	Návrh modifikace.....	34
5.2.	Využití nových NDT metod	35
5.2.1.	Elektromagnetická defektoskopie vířivými proudy	35
5.2.2.	Ultrazvuková metoda.....	37
	Závěr	39
	Seznam použitých zdrojů	41

Seznam použitých zkratek

PEJ	pomocná energetická jednotka
APU	auxiliary power unit
POD	probability of detection
NDT	non destructive testing (nedestruktivní testování)
TIG	tungsten inert gas
TC	typové osvědčení
HAZ	heat affected zone (tepelně ovlivněná zóna)
TOFD	Time of Flight Diffraction

Úvod

Při navrhování jakéhokoliv leteckého motoru chceme, aby měl dlouhou životnost a spolehlivý provoz. Z hlediska provozovatelů je důležitá bezpečnost, ale i ekonomie provozu, kdy se dbá na provozní náklady. V průběhu celkového technického života se při generálních opravách zjišťují defekty či jiná poškození. Při vývoji je velmi důležité dbát na realizovatelnost, ať už z pohledu výroby nebo následné montáže.

Motor AI-9V je proudový motor, který slouží jako pomocná energetická jednotka. Tento motor se začal používat roku 1966 jakožto verze AI-9. Verze motoru AI-9V je modifikována změnou parametrů motoru a využívá se mimo jiné ve vrtulnicích Mi-24 a Mi-17. Tato bakalářská práce se zaměřuje na motor AI-9V, který se používá ve vrtulníku Mi-17.

V souvislosti s roky v provozu a pouze dvěma vylepšenými verzemi motoru (AI-9V a AI9-3B) je v současné době několik problémů, které se na motoru musí řešit. Jeden z těchto problémů jsou defekty na zadní přírubě vnějšího pláště kompresoru. Z hlediska vývoje by bylo vhodné provést návrh na zlepšení životnosti a lepší konstrukci příruby. Tato bakalářská práce se ale zaměřuje na návrh nového inspekčního programu kritického dílu, což je vnější plášť kompresoru. Současný inspekční program je dán výrobcem a personál dodržuje postupy dle příručky pro generální opravu.

Pro návrh nového inspekčního programu byly také zhodnoceny veškeré faktory, které mohou zasahovat do životnosti dílu. Do těchto faktorů lze zahrnout i výrobu a následnou přepravu dílu, kdy při takové přepravě mohlo dojít k poškození dílu a při následné kontrole se toto poškození nemuselo jevit jako viditelné.

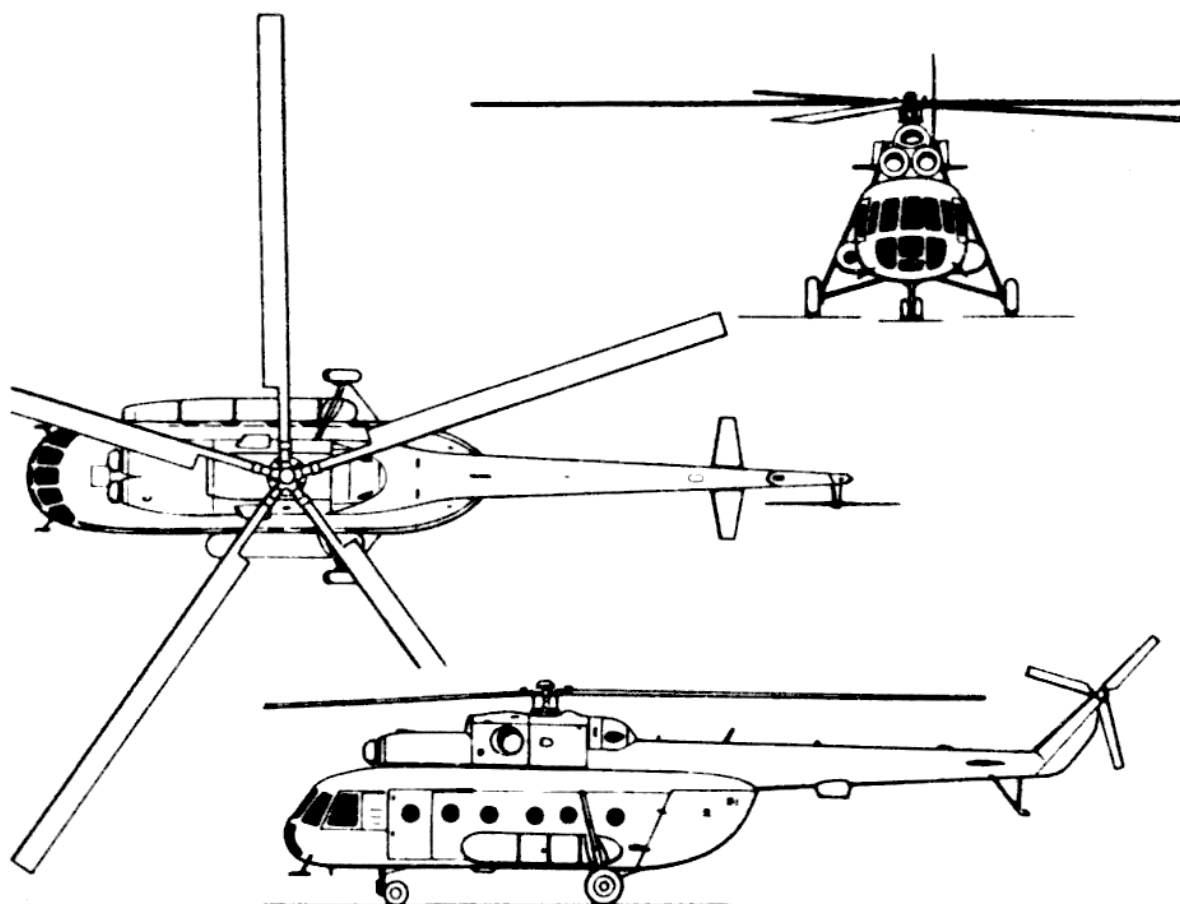
Dále bylo nutné se zamyslet nad využitím i jiných NDT metod při zkoušení dílu. Současné využití kapilární metody slouží hlavně ke kontrole již rozebraných dílů a je časově velmi náročná. Vzhledem ke skutečnosti, že byl díl při generální opravě již s defektem, by bylo vhodné kontrolu v provozu doplnit o další NDT metodu, která by doplnila již stávající vizuální kontrolu a zachytila tak defekty dřívě.

1. Popis víceúčelového vrtulníku Mi-17

Zakladatelem a hlavním konstruktérem vrtulníků řady Mi byl Michail Leont'jevič Mil, který v roce 1947 založil Moskevský vrtulníkový závod Mil, celosvětově známý podnik pro výrobu vrtulníků. [1]

Vrtulníky z řady Mi-8 patří mezi nejrozšířenější a nejznámější ve světě. První prototypy se začaly vyrábět v roce 1961. Vrtulník prošel dvěma úpravami: původní jeden motor nahradily motory dva a výrazně se zvětšila rotorová hlava. Sériová výroba těchto vrtulníků začala od roku 1965 a do výzbroje armády bývalého Československa se dostaly již v roce 1967. [1]

V roce 1976 začala výroba modernizované verze Mi-8MT, pro export označována také jako Mi-17. Schematické zobrazení je na Obr. 1. V armádě bývalého Československa se začaly vyskytovat od roku 1985 a v armádě České republiky je možné je vidět až dodnes. [1]



Obr. 1: Nákres vrtulníku Mi-17 [2]

Vrtulník Mi-17 dokáže plnit všechny úkoly ve dne i v noci, za normálních i ve ztížených povětrnostních podmínkách. Jak už název "víceúčelový vrtulník" napovídá, je využíván hned v několika variantách: výsadková, dopravní, zdravotní, přeletová a bojová varianta. Jakožto dopravní varianta slouží k přepravě buď 24 osob, 4000 kg nákladu v nákladové kabině nebo 3000 kg rozměrného nákladu na vnějším závěsu. V případě zdravotní varianty je schopen pojmout max. 12 zraněných osob na nosítkách; 17 sedících osob a 3 zraněné osoby na nosítkách, anebo 15 sedících raněných osob s jednou přídatnou nádrží. [1]

Od původní verze Mi-8 se liší použitím motorů TV3-117MT a hlavním reduktorem VR-14. Použitím spouštěcího motoru AI-9V se umožnil snížit počet akumulátorů na dva. Vyrovnávací rotor, se třemi listy, se přesunul z pravé strany na levou, čímž se zlepšila jeho účinnost. [1] Tyto změny modifikací jsou porovnány v Tab.1.

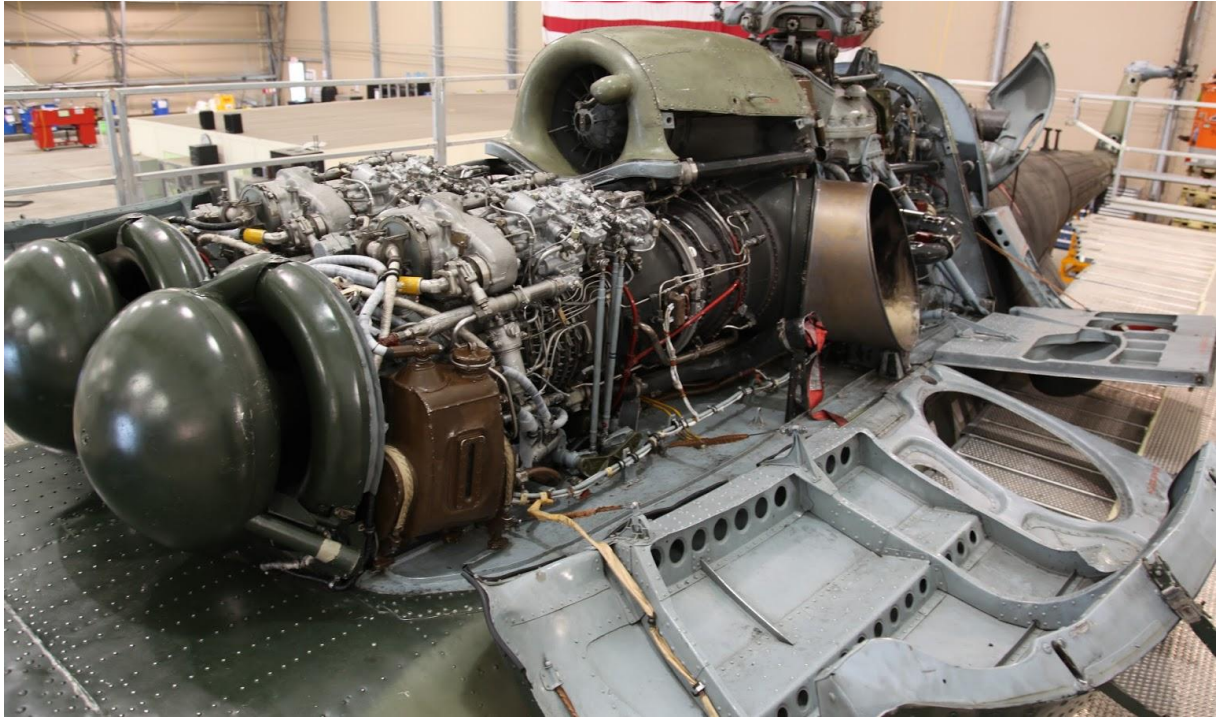
Tab.1: Porovnání základních modifikací Mi-8 a Mi-17

Označení vrtulníku	Mi-8	Mi-17
Typ motorů	2x TV2-117A	2x TV3-117MT
Výkon motoru	1120 kW	1435 kW
Typ PEJ	-	AI-9V nebo SAFIR 5K/G
Typ reduktor	VR-8	VR-14
Orientace vyrovnávacího rotoru	pravá strana	levá strana

Pohonná soustava vrtulníku Mi-17 je tedy tvořena dvěma motory TV3-117 a hlavním reduktorem VR-14, který přenáší výkon motorů na nosný a vyrovnávací rotor. Dále do soustavy patří také mimo jiné i pomocná energetická jednotka AI-9V, protiprachové zařízení na vstupu do motorů TV3-117, spouštěcí systém motorů a ochlazovače výstupních plynů motorů TV3-117. [1]

1.1. Popis turbohřídelového motoru TV3-117

Turbohřídelový motor TV3-117 je určen k pohonu vrtulníku. Motory jsou umístěny nad trupem, souměrně k podélné ose vrtulníku. [3] Jejich uložení je patrné na Obr.2.



Obr.2: Uložení motorů TV3-117 v draku Mi-17 [3]

Oba motory pracují nezávisle na sobě, což v případech vysazení jednoho motoru, umožňuje let s jedním pracujícím motorem. Motor TV3-117 se skládá ze vstupního ústrojí, 12ti stupňového axiálního kompresoru, spalovací komory, turbíny kompresoru, volné turbíny a výstupního ústrojí. [3]

Zvláštností motoru je právě volná turbína. Výkon vyvíjený jejím rotorem je předáván přes výstupní hřídele motorů k hlavnímu reduktoru. Ten přenáší krouticí moment na nosný a vyrovnávací rotor, a také na další agregáty.

Motor TV3-117 byl modernizován na 3 různé verze [3]:

- 1) TV3-117MT (modernizovaný, transportní),
- 2) TV3-117VM (výškový, modernizovaný), který se využívá u vrtulníků Mi-17,
- 3) TV3-117VMA (výškový, modernizovaný, verze A), který slouží u vrtulníků Mi-24/35.

1.2. Popis spouštěcího motoru AI-9V

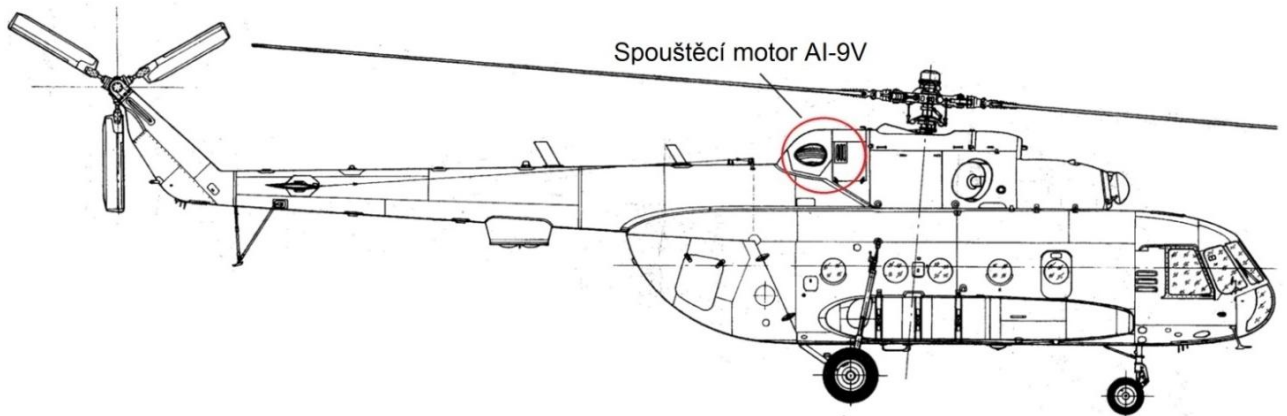
Ivčenkova AI-9V je pomocná energetická jednotka vyvinutá a vyráběná společností Ivchenko-Progress a Motor Sich. Tato PEJ je konstrukčně samostatným agregátem s vlastní palivovou soustavou, nezávislým olejovým systémem a systémem regulace. [4]

V draku vrtulníku se tento motor uchycuje celkem na čtyřech místech. Přesněji dvakrát na tělese náhonů pomocí táhel typu oko-vidlice-šroub a dvakrát na přírubě vnějšího pláště kompresoru pomocí konzole. Uchycení motoru AI-9V je zobrazeno na Obr.3. Uložení motoru ve vrtulníku se nachází v horní části trupu za hlavním reduktorem a tato pozice je označena na Obr.4, kde je možné vidět i vstup vzduchu.



Obr.3: Motor AI-9V [5]

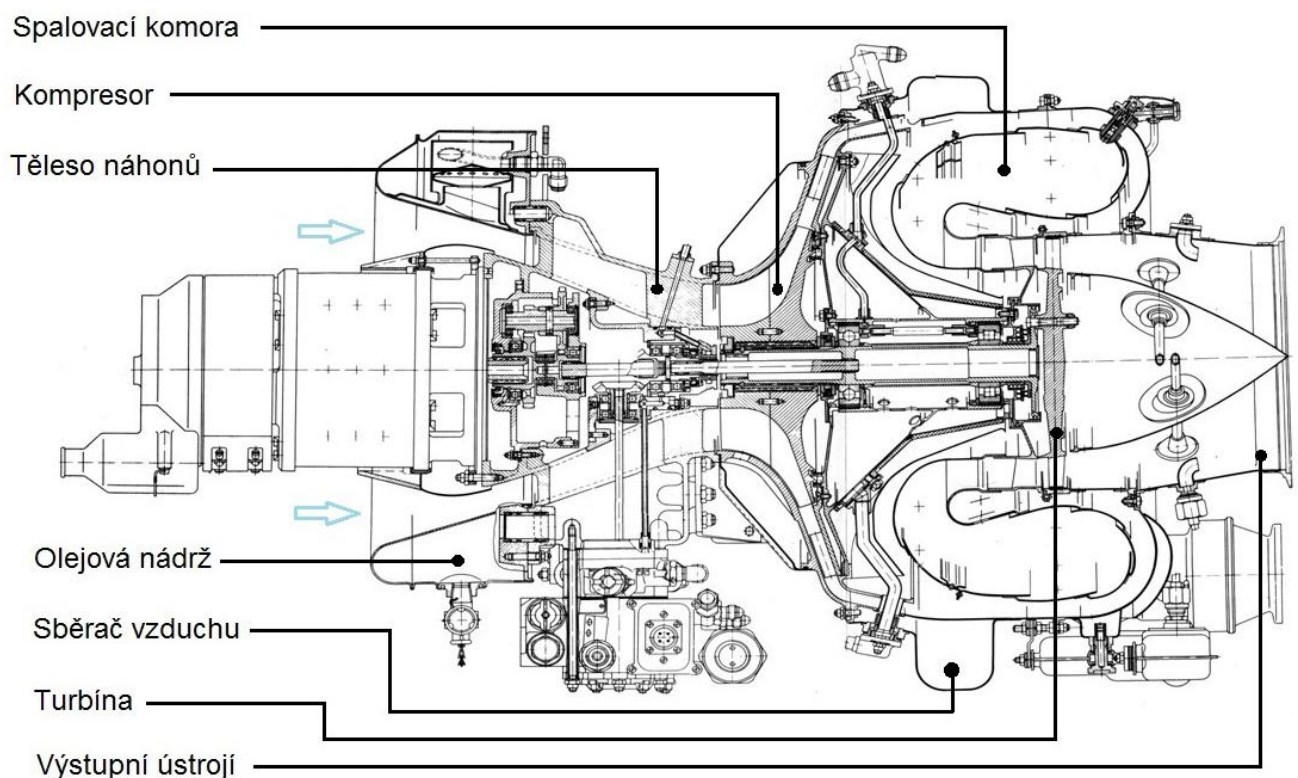
Pomocná energetická jednotka AI-9V je určena k napájení vzduchového spouštěcího systému hlavních motorů TV3-117, na zemi i za letu. Také slouží k napájení palubní sítě, v případě vysazení hlavních generátorů. [6]



Obr.4: Uložení PEJ AI-9V [2]

1.2.1. Popis hlavních částí motoru

Motor AI-9V je proudový motor s jednostupňovým radiálním kompresorem, prstencovou spalovací komorou, jednostupňovou axiální turbínou, pevnou výstupní tryskou a sběračem vzduchu s automatickým přepouštěcím ventilem vzduchu za kompresorem. [7] Hlavní popis částí je zřetelný na Obr.5.



Obr.5: Popis částí motoru AI-9V [7]

Těleso náhonů je určeno pro umístění jednotlivých agregátů motoru a jejich pohonu. Zároveň slouží pro přední úchyty motoru při montáži do draku vrtulníku. Uvnitř tělesa je umístěn reduktor dynamospouštěče, palivové a olejové čerpadlo.

Dynamospouštěč je stejnosměrný elektrický stroj, který slouží ke spuštění motoru na zemi a za letu. Také slouží k napájení palubní sítě vrtulníku v případě vysazení hlavních napájecích zdrojů.

Kompresor motoru je radiální, jednostupňový. Slouží ke stlačení vzduchu, k jeho dodávce do spalovací komory a do sběrače vzduchu. Sběrač vzduchu je prstencový a slouží k dodávce vzduchu k přepouštěcímu ventilu a ke vzduchovým spouštěčům u motorů TV3-117.

Přepouštěcí vzduchový ventil je namontován v pravé spodní části sběrače vzduchu. Je automatický a zabezpečuje stabilní činnost kompresoru při spouštění a na volnoběhu.

Spalovací komora je prstencová, svařovaná z žárovevné oceli. Použití protiproudé komory se změnou toku proudu vzduchu a plynů zkracuje délku motoru.

Turbína je jednostupňová, axiální a reakční. Přetváří tepelnou energii proudu plynu na mechanickou práci.

Výstupní tryskou jsou odváděny výstupní plyny do atmosféry. Nachází se na ní termočlánky pro měření teploty výstupních plynů za turbínou. [8]

1.2.2. Popis funkce motoru

Spuštění motoru AI-9V probíhá pomocí dynamospouštěče. Vzduch je motorem nasáván díky vstupu na krytu boční strany vrtulníku.

Stlačený vzduch z kompresoru AI-9V se rozděluje na dva proudy [9]:

- 1) První proud stlačeného vzduchu je využit ve spalovací komoře, a to pro činnost chodu motoru AI-9V, a následnému využití energie plynů na turbíně. Výkon, který se získá na turbíně se využívá pro pohon kompresoru a pro agregáty na motoru.

- 2) Druhý proud stlačeného vzduchu z kompresoru se přivádí do vzduchového sběrače. Následně se vzduch přivádí do vzduchového spouštěcího systému motorů TV3-117 přes automatický přepouštěcí vzduchový ventil.

Maximální doba činnosti tohoto motoru v generátorovém režimu je 30 minut, s následnou přestávkou po dobu minimálně 15 minut. [10]

2. Popis vybraného kritického dílu

Kritickým dílem v této bakalářské práci je vnější plášť kompresoru motoru AI-9V, který je na Obr.6. Tento plášť je spojen s vnitřním pláštěm pomocí vzpěr. Dále je také možné vidět sběrač vzduchu.



Obr.6: Vnější plášť kompresoru

Plášť kompresoru neboli skříň, je důležitým spojovacím, montážním a silovým uzlem motoru. Skříň kompresoru musí zajistit přenos sil a momentů přes závěsy motoru do draku vrtulníku. [8]

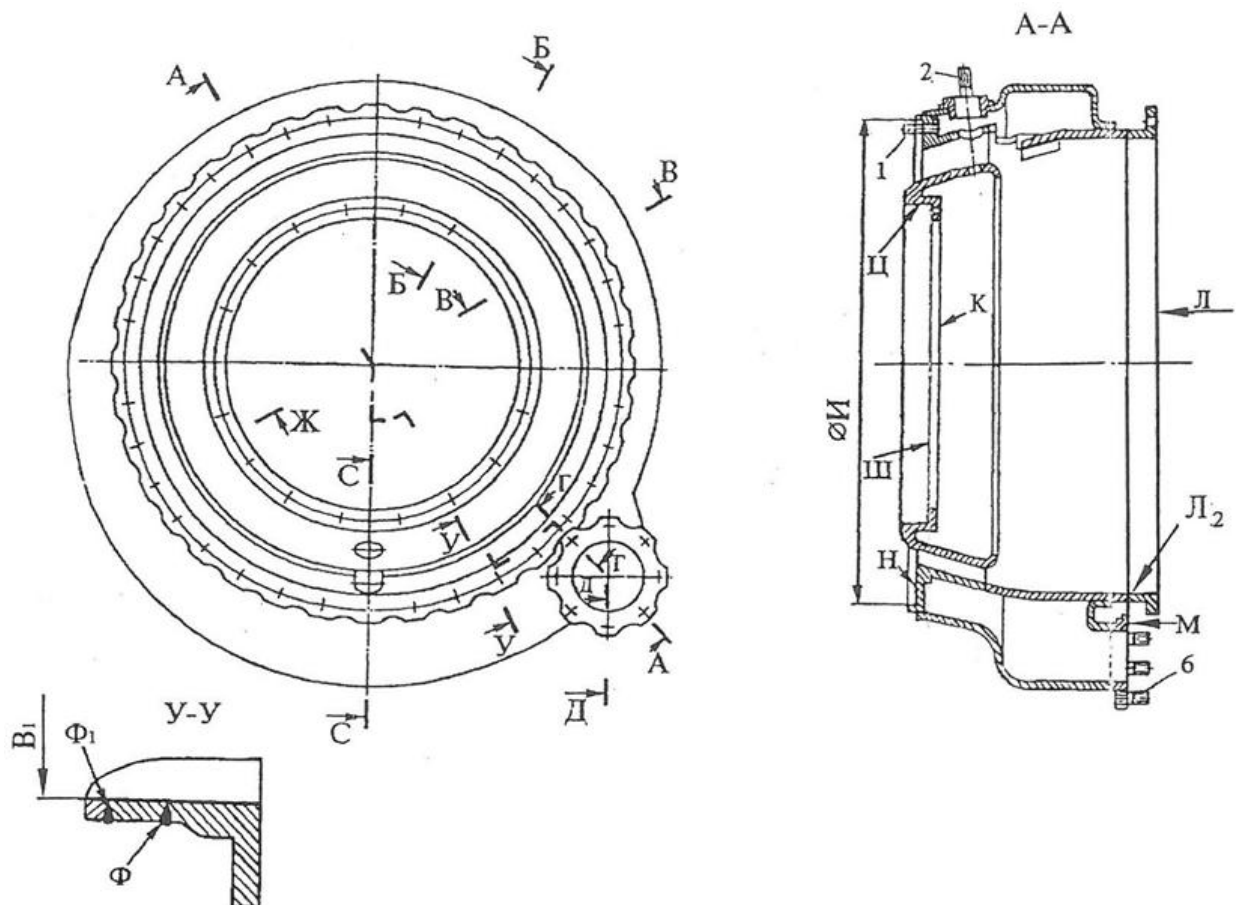
Konstrukce pláště závisí na typu použitého rotoru, dále také na technologii výroby statorových lopatek, celkovém počtu stupňů a na celkovém návrhu motoru. Hlavními požadavky na konstrukci skříně jsou [8]:

- dostatečná tuhost a pevnost za studena i tepla, a to z důvodu zajištění správného uložení rotoru a minimálních radiálních vůlí
- snadná montáž
- těsnost

- dostatečná odolnost proti průrazu - např. v případě utržené lopatky

2.1. Geometrie

Technický výkres celé AI-9V je dán výrobcem této PEJ - Motor Sich a Ivchenko-Progress. Výkres vnějšího pláště si lze prohlédnout na Obr.7.



Obr.7: Vnější plášť kompresoru - výkres [7]

Na místech označených jako Y-Y se montuje kloubový držák, který slouží k uchycení PEJ do draku vrtulníku. U tohoto uchycení dochází k deformacím a trhlinám, proto je tento vnější plášť označován jako kritický díl.

2.2. Materiál

Skříňe kompresorů se vyrábějí odléváním, z lehkých slitin u nízkotlakých kompresorů a z vysokoteplotních slitin u vysokotlakých kompresorů nebo se vyrábějí svařováním, a to z titanových nebo ocelových plechů. [8]

Vnější plášť kompresoru AI-9V je svařenec z tenkých plechů z austenitické korozivzdorné oceli s označením 12X17Г9AH4. Tento materiál je využíván pro výrobu produktů, které pracují za atmosférických podmínek při teplotách až do +350°C. [11] Jeho konkrétní chemické složení je uvedeno v Tab.2.

Tab.2: Chemické složení v [hm. %] materiálu 12X17Г9AH4 [11]

Uhlík C	Křemík Si	Mangan Mn	Nikl Ni	Síra S	Fosfor P	Chrom Cr	Dusík N
do 0,12	do 0,8	8,0 -	3,5 -	do 0,02	do 0,035	16,0 -	0,15 -
		10,5	4,5			18,0	0,25

2.3. Zatížení

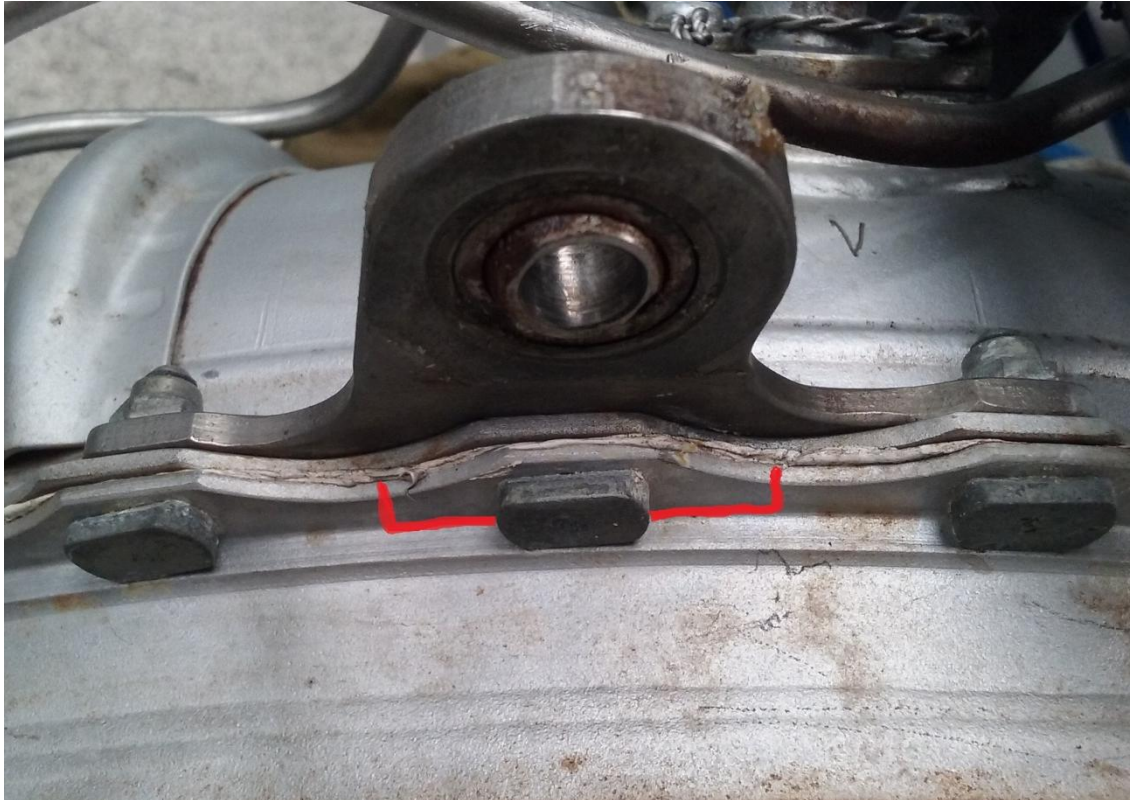
Dostatečné tuhosti a pevnosti skříní, které se vyrábějí odléváním, se dosahuje vhodnou volbou žebrování a síly stěny. Síla stěny se pohybuje v rozmezí 6 až 10 mm. Skříně svařované se vyrábí z plechu silného 1,5 až 3 mm. Pro zvýšení tuhosti se skříně opatří žebry a přírubami. [8]

Vnější plášť kompresoru je svařenec z plechu o síle stěny 1,5 mm. Dále je opatřen dvěma přírubami: vnější (spojovací) a vnitřní, na kterou se uchycuje spalovací komora.

Skříně je namáhána od obou ložisek rotoru, silami, které působí na statorové lopatky a vstupní ústrojí; vnitřním přetlakem; a také silami i momenty od ostatních částí na motoru. [8]

2.4. Projevy únavového poškození

Únavové poškození na plášti se projevuje trhlinami na přírubě nebo přímým utržením části příruby u kloubového držáku. Vzhledem k nedostupnosti fotografie, která by ukazovala příslušná poškození, je na následujícím Obr.8 červeně znázorněna část příruby, která je náchylná k utržení.



Obr.8: Vyznačené utržení části příruby

Trhliny se zjišťují jak vizuálně při předletových a poletových prohlídkách, tak i při generálních opravách pomocí nedestruktivního zkoušení materiálu, kdy ještě nemusí být okem viditelné. Utržená část příruby je ale obtížněji zjistitelná kvůli špatnému přístupu zespodu motoru.

3. Popis současného inspekčního programu a NDT metod

Tato kapitola se zaměřuje na stav a průběh současného inspekčního programu, seznam různorodých postupů při opravování vnějšího pláště a následnými NDT metodami pro odhalení trhlin.

Výrobce motoru stanovil celkový technický život a jeho meziopravní resurs (doba mezi opravami), který je provozovatel povinen dodržovat [10]:

Technický život:

- 1) max. 6 000 spuštění motoru
- 2) max. 9 000 odběrů vzduchu po spuštění motoru
- 3) max. 600 hodin v generátorovém režimu

Meziopravní resurs:

- 1) max. 1 800 spuštění motoru
- 2) max. 3 000 odběrů vzduchu po spuštění motoru
- 3) max. 200 hodin v generátorovém režimu

Provádění generálních oprav podléhá technologickým postupům, které jsou zpracované na základě originální příručky pro generální opravu 9V.00.00.000RK vydané výrobcem Motor Sich. Technologie je jimi dodatečně a průběžně aktualizována. [10]

3.1. Popis současného inspekčního programu

3.1.1. Předletové a poletové prohlídky

Kromě typické generální opravy, kde se motor podrobí detailnější kontrole, je zde předletová a poletová prohlídka. Tyto prohlídky se skládají z několika nutných prací [12]:

- 1) Provedení vnější kontroly motoru: nepřítomnost vnějšího poškození, spolehlivé upevnění motoru a agregátů, elektrického vedení i potrubí

(vzduchové, olejové, palivové), dále netěsnosti oleje a paliva a přítomnost cizích předmětů v úseku motoru

- 2) Prověření množství oleje v nádrži a případné jeho doplnění

3.1.2. Generální oprava

Jak již bylo výše zmíněno, motor se zasílá do opravy při dosažení určitých provozních údajů. Při převzetí motoru do opravy se dodržují následující postupy [7]:

- 1) kontrola kompletnosti motoru, kompletnosti a vedení provozní technické dokumentace
- 2) úplná demontáž motoru a jeho agregátů
- 3) čištění a mytí dílů a sestav
- 4) kontrolně technologický nález, kde probíhá: vizuální kontrola, proměřování dílů, zasílání na defektoskopické kontroly, stanovování způsobu renovace opravitelných dílů nebo vyřazení neopravitelných dílů
- 5) opravy defektů dílů a sestav
- 6) výměna dílů za díly nové nebo za díly použité s vyhovujícím technickým stavem a počtem odpracovaných hodin
- 7) výměna předepsaných dílů (díly povinné výměny)
- 8) montáž sestav, uzlů a agregátů
- 9) konečná montáž motoru
- 10) zaslání do zkušebny motorů - zkušební běh motoru
- 11) konzervace a výprava motoru

Významným bodem pro tuto kapitolu je zaslání dílů a sestav motoru na kontrolně technologický nález, kde jsou díly zkontrolovány nejen vizuálně, ale také poslány na další kontroly, a to na defektoskopii. Tyto NDT metody jsou detailněji popsány v kapitole 3.3.

Při vyhodnocování stavu vnějšího pláště kompresoru je nepřípustnou vadou trhlina větší než 100 mm. Trhliny, které jsou do 100 mm podléhají příslušné opravě. Touto a dalšími opravami se zabývá následující kapitola 3.2.

3.2. Popis postupu opravy

U vnějšího pláště kompresoru se může objevit hned několik závad, které mají specifické postupy při opravě. Konkrétně se jedná o závady typu: napálení na povrchu pláště, otlaky a rysky na dosedacích plochách, promáčknutí povrchu sběrače vzduchu, chybějící začištění na svárném švu u zadní příruby, poškození nebo stržení závitů na závrtných šroubech, netěsnost pláště, poškození povrchové ochrany. [7]

Pro nás jsou důležité konkrétní závady, které se objevují zvláště u kloubového držáku na přírubě [7]:

- 1) trhliny ve svárném švu na zadní přírubě - oprava se řeší zavařením metodou TIG, a poté se posílá na barevnou defektoskopii
- 2) utržení části zadní příruby - výměna utržené části příruby za novou část z vyřazeného pláště
- 3) vylomení, deformace a trhliny v zadní přírubě - výměna poškozené příruby.



Obr.9: Kloubový držák na přírubě

Utržená část příruby se zjišťuje při probíhající demontáži kloubového držáku na přírubě vnějšího pláště kompresoru. Jak již bylo zmíněno, toto konkrétní poškození je obtížněji zjistitelné při prohlídkách motoru v draku vrtulníku.

Při zavařování trhlín se provádí odvrtávání začátku a konce trhlíny, očištění povrchu, vybroušení trhlíny po celé délce, případné vyrovnání povrchu, odmaštění a poté dojde k zavaření metodou TIG dle technicko-organizačních pokynů. [7]

Při deformacích či utržení části příruby se nejčastěji provede výřez této části příruby pomocí přípravku, aby nedošlo ke zkroucení pláště. Poté dojde k slícování a následně k svařování nové části příruby, která se vyřízne z vyřazeného pláště. Po dokončeném svařování se svar ručně brousí a začistí. Dále následuje vizuální kontrola kvality svaru a zaslání na kapilární defektoskopii. [7]

3.3. NDT metody

NDT metody, jakožto nedestruktivní kontrola, tvoří velmi významnou a nedílnou součást v procesu výroby a údržby. Ze značné míry se také podílí na kvalitě finální produkce. [13]

Účelem těchto metod je získat informace o zkoumaném objektu či předmětu tak, abychom je nepoškodili či kompletně nezničili. Také nám pomáhají zaručit bezporuchovost, spolehlivost a bezpečnost provozu. Využití NDT metod můžeme nalézt v jakémkoliv průmyslu, kde je nutná kontrola, a to především u namáhaných částí. [13]

Nedestruktivní testování je důležité rozlišit podle druhu využití na výrobku. Záleží na materiálu, rozměru objektu, demontáži (z hlediska přístupnosti) a podobně. V současnosti existuje mnoho různých metod, kterými se zjišťují nejen vady a trhlíny ve výrobcích, ale také se stanovuje jejich rozsah a lokalizace na objektu. Po takovémto zjištění následuje zhodnocení vady a rozhodnutí o dalším postupu, což může být buď oprava nebo úplné vyřazení z provozu. [13]

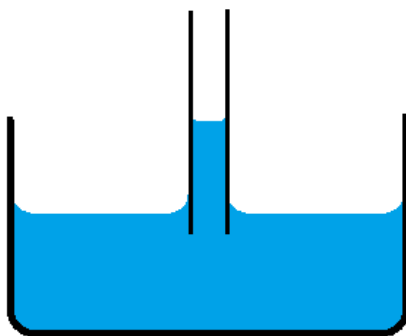
Tato práce se zaměřuje na popis dvou metod: vizuální a kapilární, protože se využívají právě při kontrole vnějšího pláště kompresoru na AI-9V, jak již bylo zmíněno výše.

3.3.3. Vizuální metoda

U vizuální kontroly probíhá vyhodnocování objektu lidským okem, pomocí lupy nebo optických a optoelektronických přístrojů a zařízení (například endoskopy, kamery a další). Tato metoda je ze všech metod nejjednodušší, ale je důležité mít dobré osvětlení, dobrý zrak a dobrý přístup k objektu. [13]

3.3.4. Kapilární metoda

Využívá se pro detekci povrchových otevřených trhlin a necelistvostí nejrůznějších tvarů a velikostí. Tato metoda je vhodná pro kovové i nekovové materiály. [13] Princip metody je založen na kapilární elevaci, tzn. kapalina smáčí stěny ve vydutém tvaru, pro lepší znázornění viz Obr.10.



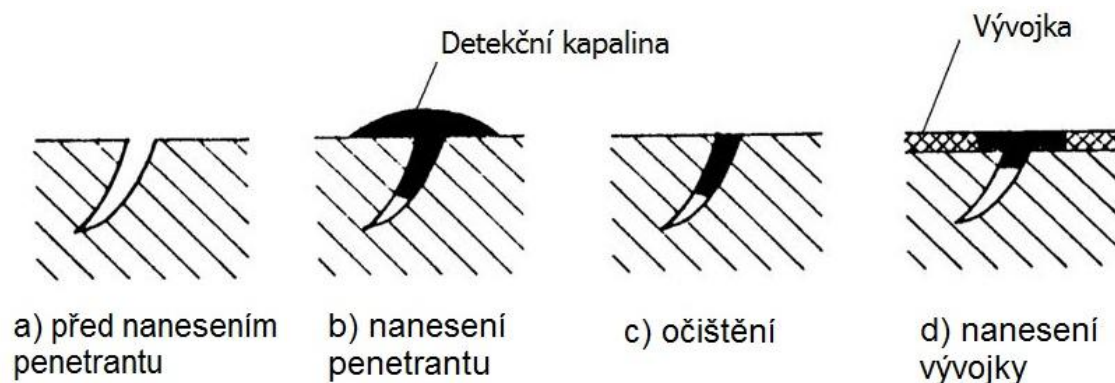
Obr.10: Kapilární elevace

Kapalina obsahuje viditelné nebo fluorescenční barvivo, které se do případné trhliny usadí a nanosená vývojka pak způsobí její vzlínání k povrchu. Proces této metody bývá časově náročný. Před každým měřením se provádí kontrola kapilární defektoskopie na kontrolní měrce. [13]

Postup při barevné defektoskopii u vnějšího pláště kompresoru je následující:

- 1) Kontrolovaný díl se odmastí pomocí štětce nebo utěrky namočené v čistém acetonu.
- 2) Aceton se nechá odtékat ponecháním dílu pod hubicí odsávání nebo v její těsné blízkosti, případně v odsávací digestoři po dobu cca 60 minut.

- 3) Na povrch podléhající kontrole se nanese penetrant pomocí štětce celkem třikrát. Prodleva mezi jednotlivými nánosy jsou dvě až tři minuty. Nebo ponořením dílu do vaničky s penetrantem po dobu 10 až 15 minut.
- 4) Poté se penetrant odstraní mycí směsí pomocí štětce nebo ponořením dílu do vaničky s mycí směsí. Doba ponoření nesmí přesáhnout tři minuty. Zbytky mycí směsi a penetrantu se odstraní pečlivým vytřením suchou utěrkou.
- 5) Po odstranění mycí směsi a penetrantu je třeba nanést na kontrolovaný povrch vývojku, a to nástřikem v tenké rovnoměrné vrstvě. Po zaschnutí se kontrolovaný předmět předá ke kontrole.
- 6) První kontrola se provede ihned po nástřiku a znovu po 30 až 60 minutách.
- 7) Případné vady se výrazně označí. Díly s nepřijatelnými vadami se označí a vyřadí.



Obr. 11: Princip kapilární defektoskopie [14]

Při NDT metodách lze také využít křivku nesoucí název POD, což znamená Probability of Detection, která nám udává schopnost detekovat trhliny. Tato pravděpodobnostní křivka je závislá na využití NDT metodě, podmínkách zkoušení a na lidském faktoru. Tuto křivku lze definovat jako přímou závislost velikosti trhliny na pravděpodobnosti její detekce. Pro zjištění konkrétní POD křivky je nutné provést určitý počet měření pro několik hodnot zvolené nezávislé proměnné (např. velikost trhliny). [13]

4. Určení vlivů ovlivňujících životnost kritického dílu

U vnějšího pláště kompresoru bylo zjištěno několik faktorů, které mohou ovlivňovat celkovou životnost dílu. Deformace na přírubě může být způsobena napětím nebo únavou materiálu. Vzhledem ale k velmi nízkému počtu defektů, které se na přírubě vyskytly, není v tuto chvíli dostupný fyzický materiál a nemůže být tak provedena fraktografie. Též ani v minulosti se taková fraktografická zkouška neprováděla.

V roce 2013 až 2014 se objevil problém s konzolou, která drží motor AI-9V v draku vrtulníku. U této konzoly se objevila trhlina, která byla shledána jako únavový lom, a to důsledkem mechanického poškození povrchu součástí. Kromě trhliny na konzole se objevila trhlina i na přírubě s kloubovým držákem, je zde tudíž možná spojitost mezi konzolou a kloubovým držákem na přírubě. Na tento konkrétní problém byl vystaven bulletin.

Únavový lom vzniká v důsledku cyklicky se opakujícího zatížení. Rozhodující je tedy počet kmitů zatížení, nikoliv celková doba provozu. Počátek únavového lomu se šíří od povrchu a proměnlivým zatěžováním se trhlina otevírá a zavírá, a tím se šíří dále do hloubky materiálu. Jakmile napětí překročí mez pevnosti, zbývající část materiálu se zlomí a vzniká statický lom. [15]

4.1. Materiál

Z materiálového hlediska je důležité, pro dosažení požadovaných mechanických a únavových vlastností, dodržet nadimenzovaný materiál. Pro kontrolu materiálu je vhodné jej podrobit zkoušce určující nejen chemické složení, ale také prokazující dodržené výrobní postupy a jeho následné tepelné zpracování.

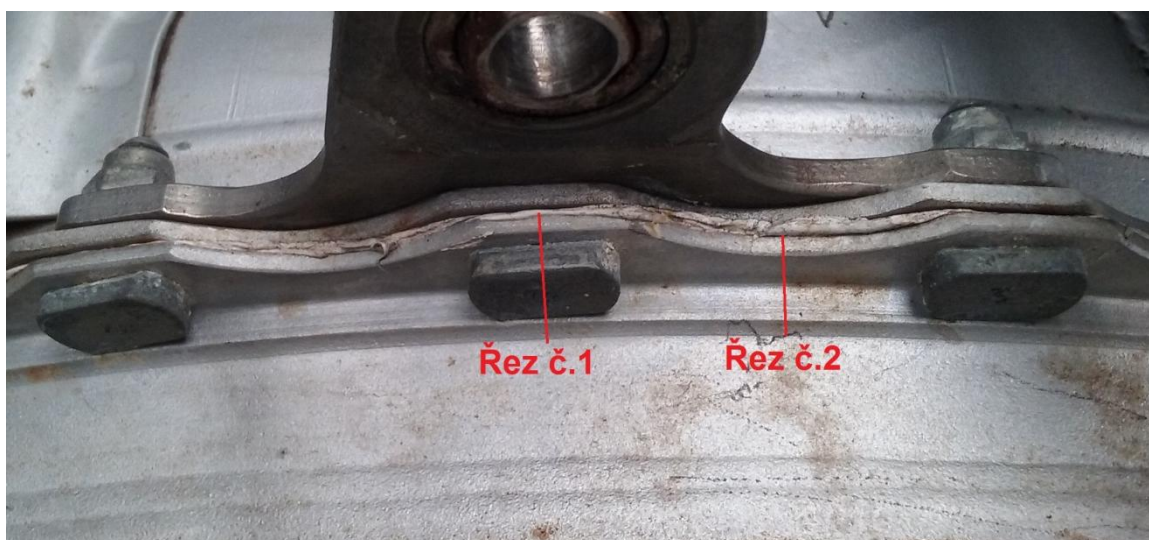
V metalografické laboratoři pod odborným dohledem byla provedena rentgenová spektrální analýza pomocí analyzátoru Oxford Instruments X-MET 7500. Měřením bylo určeno množství legujících prvků určených v Tab.3. Pomocí analyzátoru Oxford Instruments nelze určit prvky s nižším protonovým číslem (C, N, Si, S, P). V případě těchto prvků, mohou být výsledné hodnoty zkreslené, z tohoto důvodu nejsou hodnoty těchto prvků zaneseny v tabulce. Pro důkladnější chemický rozbor by bylo

nutné vzorky analyzovat pomocí elektronové mikroanalýzy (mikrosondou) popřípadě nákladnějšími analytickými metodami.

Tab.3: Porovnání naměřených hodnot s hodnotami z materiálového listu

Prvek	Materiálový list [hm.%]	Naměřené hodnoty [hm.%]
Cr	16,0 - 18,0	17,4
Mn	8,0 - 10,5	9,5
Ni	3,5 - 4,5	3,7
C	do 0,12	-
N	0,15 - 0,25	-
Si	do 0,8	-
S	do 0,02	-
P	do 0,035	-

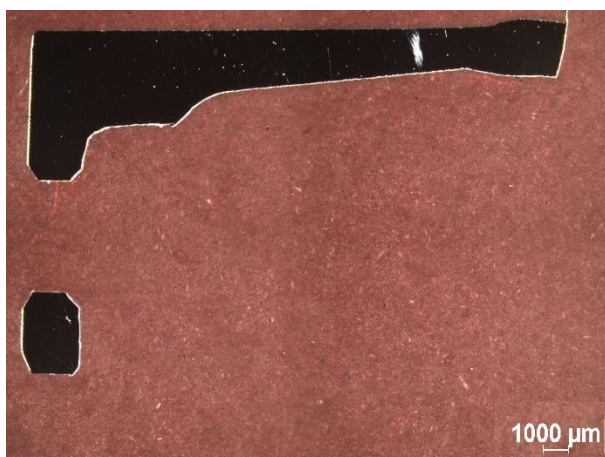
Z poskytnutého materiálu byly vytvořeny metalografické vzorky. Tyto vzorky byly odebrány ze zadní příruby v místech zobrazených na Obr.12.



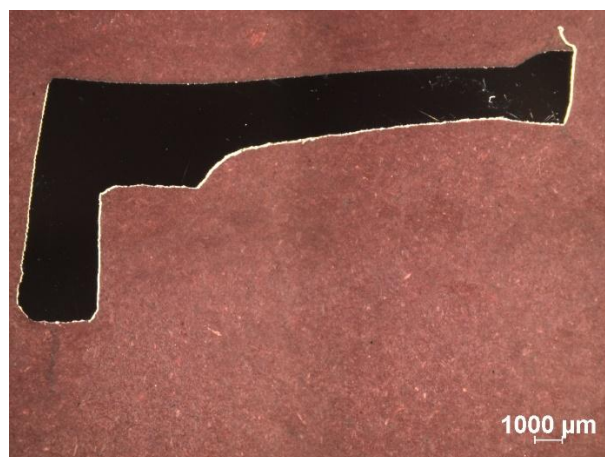
Obr. 12: Místa řezu na přírubě

Příruba byla nařezána na laboratorní pile Struers Secotom 50. Následně byly oba vzorky zalisovány do pryskyřice v lisu LaboPress-3 a leštěny do zrcadlového lesku na Struers Tegra Pol-21. Zvýraznění struktury materiálu bylo dosaženo elektrolytickým leptáním v kyselině šťavelové.

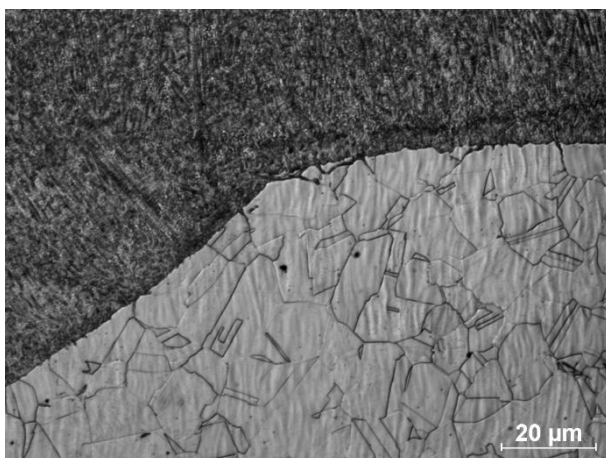
Na Obr. 13 a Obr. 14 jsou zobrazeny připravené vzorky v leštěném stavu. U obou řezů se jedná o austenitickou hrubozrnnou strukturu. Austenitická struktura má nerovnoměrně velká zrna s charakteristickými dvojčaty. Mikrostrukturní snímky na Obr. 15 a Obr. 16 zobrazují linii ztavení mezi svarovým kovem a austenitickým základním materiálem. Není zde patrná tepelně ovlivněná oblast ani zhrubnutí zrna způsobené svařováním. Z toho vyplývá, že materiál i jeho způsob zpracování nemá velký vliv na celkovou životnost dílu.



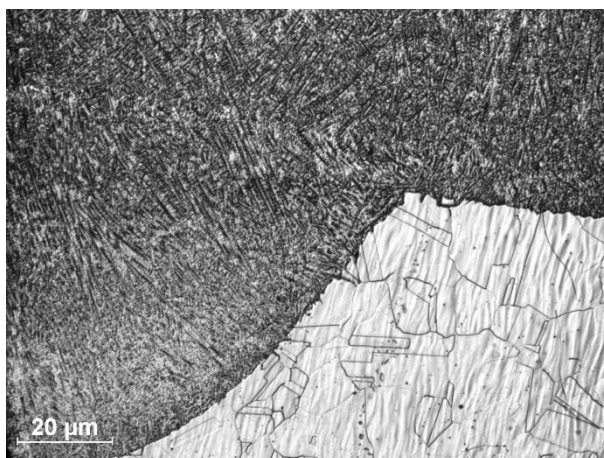
Obr. 13: Řez č. 1



Obr. 14: Řez č. 2



Obr. 15: Přechod svarového kovu u řezu č. 1

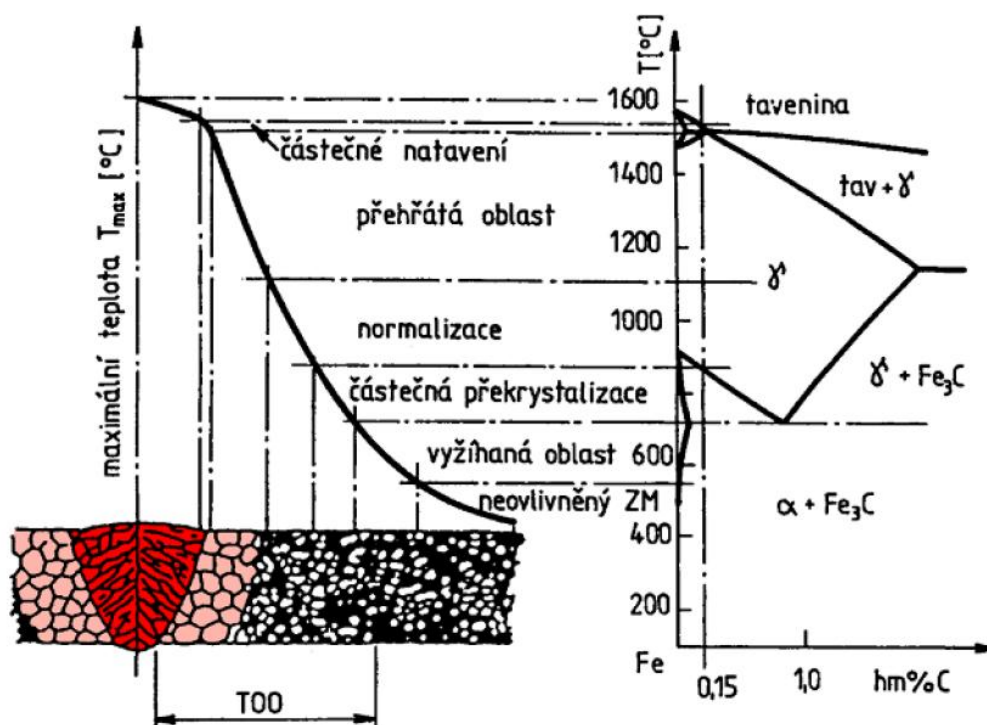


Obr. 16: Přechod svarového kovu u řezu č. 2

4.2. Vliv svařování na vlastnosti materiálu

Postup při opravě vnějšího pláště byl již popsán v kapitole 3.2. Konkrétní detaily a parametry svařování metodou TIG budou stručně popsány v této kapitole. Při svařování utržené části se využívá koutového svaru a tupého svaru.

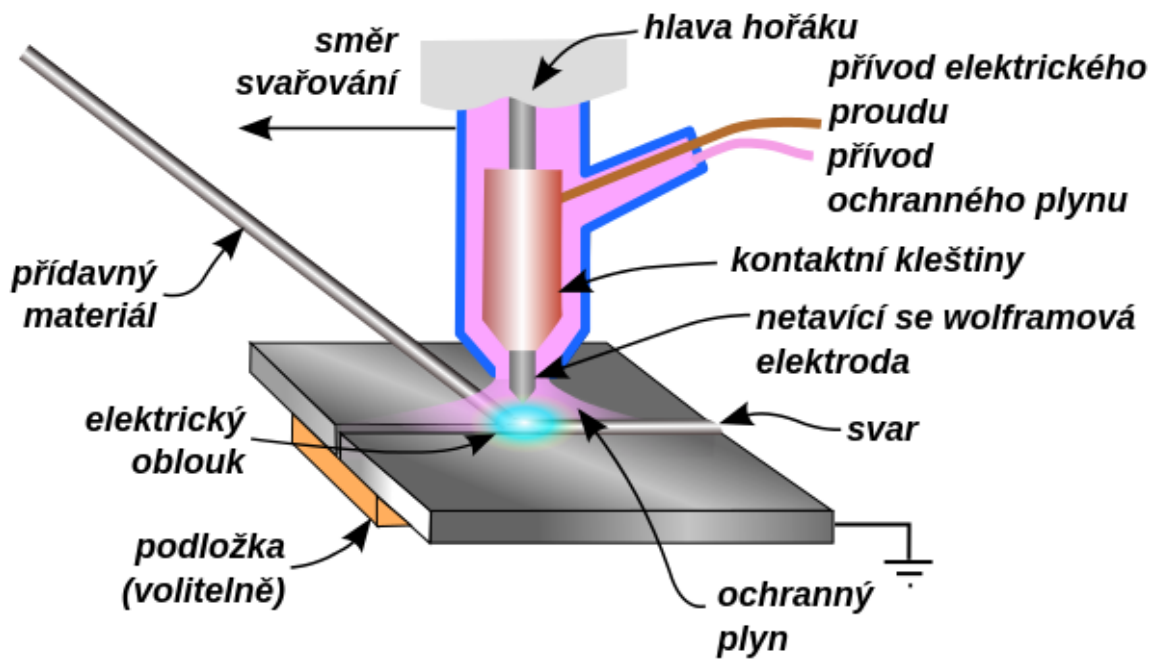
Při procesu svařování dochází k intenzivnímu ohřevu materiálu. Vneseným teplem se natavuje malý objem kovu, a zároveň se díky tepelné vodivosti ohřívá i okolní oblast materiálu. Ohřívání okolní oblasti se nazývá tepelné ovlivnění, neboli HAZ (heat affected zone). Vysoké teploty mohou způsobit fázové přeměny, fyzikálně chemické reakce, změnu struktury v oblasti svaru a změnu objemu, která způsobí vnitřní napětí a deformace. [16] Na následujícím Obr.17 je vyobrazena oblast teplotního ovlivnění materiálu.



Obr.17: Teplotní ovlivnění materiálu [17]

4.2.1. Svařování metodou TIG

Tato metoda obloukového svařování s wolframovou elektrodou v inertním plynu se používá při svařování neželezných kovů, korozivzdorných, legovaných i nelegovaných ocelí. [16] Princip svařování touto metodou s popisem je vyobrazen na Obr.18.



Obr.18: Princip svařování metodou TIG [1]

Wolframová elektroda je upevněna pomocí kontaktní kleštiny v hlavici hořáku. Pomocí kleštiny je též přiveden přívod elektrického proudu do elektrody. Ochranný plyn argon chrání svarovou lázeň před účinky okolní atmosféry. Přídavný materiál má většinou podobné složení jako má základní svařovaný materiál, lze ale svařovat i bez použití přídavného materiálu. [16]

Výhodou této metody je vysoká teplota oblouku a zároveň velmi úzké teplotní pole. Nepochází tak k velkému teplotnímu ovlivnění kolem svaru. [16] Není tedy ani nutné použít proces žhání, který by tepelné pnutí odstranil. Vzhledem k těmto faktům má svařování metodou TIG, při opravě vnějšího pláště, velmi zanedbatelný vliv na životnost dílu.

4.2.2. Parametry svařování při opravě vnějšího pláště

Před každým procesem svařování se díl odmastí. Při svařování trhlin či přivaření části příruby se využívá následujících parametrů, které jsou sepsány v Tab.4 a jsou v souladu s technologickým postupem Tab.4: Parametry svařování [7].

Tab.4: Parametry svařování [7]

Svařovací proud	40 - 80 A, stejnosměrný
-----------------	-------------------------

Ochranný plyn Argon	4 - 5 l/min
Wolframová elektroda	průměr \varnothing 1,5 mm, otupení hrotu \varnothing 0,5 mm
Přídavný materiál	svařovací ocel. drát, průměr \varnothing 1,2 - 1,6 mm
Šířka svaru	4,0 - 6,0 mm
Výška svaru	0,6 - 0,8 mm

Hodnota svařovacího proudu se volí dle tloušťky materiálu, tepelné vodivosti, typu svarového spoje, polohy a rychlosti svařování. Hodnota průtoku ochranného plynu také závisí na tloušťce materiálu, dále závisí na vnějším pracovním prostředí a geometrii svarového úkosu. Průměr elektrody se volí dle velikosti intenzity svařovacího proudu. [16]

4.3. Povrchová ochrana vnějšího pláště

Z dalších vlivů působících na životnost by mohl být nechráněný povrch vnějšího pláště. Povrch části by měl být čistý, hladký a bez vad. Před každou aplikací povrchové ochrany je důležité materiál omýt a odmastit. V současné době se na povrchu vnějšího pláště zjistila částečná oxidace, a to již jen po několika hodinách v provozu.

Aktuálně se využívá ochrany barvením, přesněji s využitím silikonové emailové vypalovací stříbrné barvy. Tato stříbrná barva je pigmentována hliníkem a je tepelně odolná do 500° C. Nanáší se nátěrem, a to pouze na vnější straně vnějšího pláště kompresoru. [7]

V případě nedostatečné ochrany barvením by bylo vhodné využít jednu z dalších metod ochrany, a to je takzvaná pasivace. Tato pasivace vzniká samovolnou nebo řízenou tvorbou ochranné vrstvy oxidu na povrchu kovu pomocí koncentrované kyseliny dusičné. Ochranná vrstva oxidu zabraňuje dalším průběhům reakcí a chrání tak kov před vznikem koroze. V případě dalšího zpracování materiálu tzn. svařování, broušení, tryskání a podobně, se vrstva oxidu narušuje, a je proto nutné tuto vrstvu znovu obnovit. [1]

4.4. Vlivy na motor

Existují 4 hlavní faktory, které působí na životnost motoru, a to je vývoj, výroba, údržba a provoz. Každý z těchto faktorů bude blíže popsán v následujících podkapitolách.

4.4.1. Vývoj

Při vývoji motoru je důležitá vysoká životnost a spolehlivost výrobku. I přes precizní vývoj se však v průběhu provozu mohou vyskytnout poškození či problémy s řešením některých špatně přístupných částí motoru v provozu.

V souvislosti s touto bakalářskou prací je zde uveden problém s vnějším pláštěm kompresoru. Pro odstranění uvedených defektů by zde byla možnost provést změnu geometrie, která by obnášela analýzu napětí a modelování. Konkrétní změny by se vztahovaly na úpravu rádiusu u příruby nebo změnu tloušťky stěny u vnějšího pláště.

4.4.2. Výroba

Při plánování výroby včetně výroby samotné, je důležité vést výrobní dokumentaci a držet se předepsaných technologických postupů, dodržovat požadavky na materiály a na jejich povrchovou úpravu. Nevhodný materiál by mohl způsobit nevratné poškození nejen na přírubě, ale také na celém motoru, a posléze i na celém vrtulníku. Po dokončení výroby by se měla provést důkladná kontrola hotových částí.

4.4.3. Údržba motoru

Při údržbě motoru je důležité dbát na správnou a důkladnou inspekci. V tomto případě se jedná o NDT metody. Vizuální kontrola mnohdy nestačí a kapilární metoda je sice efektivní, méně finančně náročná ale velmi zdlouhavá. Pro rychlejší a efektivnější kontrolu by bylo vhodné zvolit jiné metody. Například metodu vířivých proudů nebo ultrazvuk.

Při opravách by se mělo dbát na kvalitu materiálu dílu, kvalitu povrchové úpravy a na rozměry, které se nesmí lišit od předepsaných. Letecký mechanik je nucen používat předepsané nářadí, pomůcky a další přípravky. Nesmí dojít k jejich záměně nebo k jejich nesprávnému používání. Pokud je dáno v postupu, musí se dodržet

předepsaný krouticí moment pro dotažení šroubů. Například pro šrouby na zadní přírubě je stanoven moment $M_k = (3,5 \div 4)\text{Nm}$. [7]

Při montáži motoru nebo jakéhokoliv jiného letadlového celku se dbá na dodržení správného vzájemného uložení všech dílů i sestav. Zároveň také i na správné sestavení všech uzlů motoru, včetně dodržení předepsaných radiálních vůlí při provádění souososti. Správně provedená souosost motoru zabraňuje nadměrnému opotřebením rotorových a statorových částí (zejména těsnících hmot). Případné odchýlení od souososti může způsobit nerovnoměrné rozložení sil působící na části motoru, a tím tak může vzniknout další poškození.

Proto aby byl motor provozuschopný na všech režimech a za všech podmínek letu, je nutné seřídit (nastavit) regulační prvky agregátů, jako například u olejového čerpadla MA-9V nebo čerpadla - regulátoru NR-9V tak, aby všechny měřené parametry byly v souladu s technologickými postupy dle příručky. [7]

Předběžné nastavení všech regulačních prvků (dle technických podmínek pro každý agregát) se provádí před a po montáži agregátů na motor, a jejich konečné nastavení probíhá při zkušebním běhu na zkušebním standu.

4.4.4. Provoz a pravidelné intervaly údržby v provozu

Pravidelné intervaly údržby již byly zmíněny v předešlé kapitole 3.1.1. V rámci předletových a poletových prohlídek dochází k předepsaným revizím na celém draku vrtulníku včetně pohonných jednotek. Rozsah a postupy těchto kontrol jsou stanoveny výrobcem.

Provoz motoru může být ovlivněn prostředím, kterému je vystaven. Zde může mít na provoz vliv prach, písek, mlha, sůl apod. V případě provozu za těchto jiných podmínek např. arktických, pouštních nebo vysokohorských, jsou v příslušné příručce pro provoz uvedeny změny ve lhůtách údržby a jiné specifické změny.

Provozovatel je povinen vést provozní knihu a dodržovat podmínky a intervaly údržby dle příručky pro provoz a dle letové příručky, která obsahuje například tyto informace [7]: omezený počet odběrů vzduchu, omezený počet hodin v generátorovém režimu, spouštění PEJ max. do 4 km nad mořem.

5. Návrh nového inspekčního programu a NDT metod

Veškerý inspekční program, který se v současné době používá při kontrolách dílů a sestav u PEJ AI-9V, je přesně daný a určený výrobcem motoru. Technologické postupy kontrol a oprav jsou dané v příručce pro generální opravu 9V.00.00.000RK.

Vzhledem k výskytu trhlin a poškození na zadní přírubě vnějšího pláště kompresoru motoru AI-9V je doporučeno provádět důslednou periodickou vizuální kontrolu (doplněnou NDT metodou) před a po ukončení letové akce. Tato kontrola se bude provádět v průběhu předepsané pravidelné kontroly (prohlídky) prostoru AI-9V. Vzhledem k obtížnému přístupu k místům výskytů trhlin, by bylo nutné provést svěšení motoru. Časová náročnost revize defektních míst by se následně násobně zvýšila o svěšení motoru, což by znamenalo prodloužení doby kontroly.

5.1. Návrh modifikace

V předešlé kapitole byly řešeny vlivy, které by mohly ovlivňovat životnost kritického dílu na AI-9V. Kromě možných řešení ke zvýšení životnosti u tohoto dílu, lze zmínit i návrh nové modifikace. Tato modifikace by obnášela konstrukční úpravy, konkrétně například rozšíření příruby nebo zvětšení radiusu u příruby. Dále by se mohlo uvažovat i o změně materiálu použitého na vnějším plášti kompresoru. U těchto modifikací by již byla nutná analýza napětí a modelování v softwarovém programu. Vzhledem k nízkému rozsahu bakalářské práce by tyto modifikace mohly být dalším vhodným tématem pro diplomovou práci.

Generálním opravám PEJ AI-9V se věnuje státní podnik LOM PRAHA. Vzhledem k tomu, že tento podnik je certifikován jen k provádění generálních oprav, nelze provádět žádné modifikace a změny na motoru nebo v postupech oprav. V případě, že chce organizace provést změny nebo modifikace musí nejdříve požádat držitele TC.

5.2. Využití nových NDT metod

Pro efektivnější a rychlejší odhalení defektů by kontrolu bylo vhodné doplnit o novou NDT metodu. V současné době se v provozu využívá pouze vizuální kontrola, kde je důležité mít ostré světlo. V případě podvrchových defektů je ale tato kontrola neúčinná.

Pro odhalení defektů by bylo například vhodné upravit (zkrátit) interval kontrol motoru v provozu, a to i přesto, že je tento návrh nevýhodný pro uživatele. Vzhledem k současnému stavu by toto řešení mohlo být bráno jako dočasné, a to do doby než by se například navrhla nová modifikace. Provádění častějších kontrol je jak ekonomicky, tak i časově náročné. Při provozování letecké techniky je zapotřebí, aby měla co nejdelší životnost a co nejméně oprav.

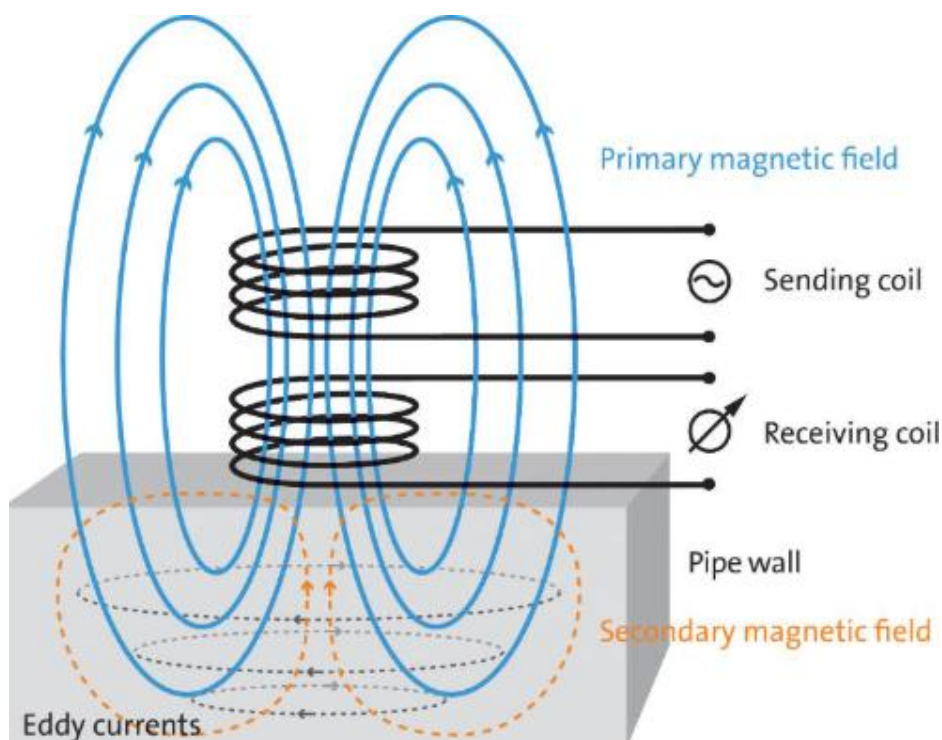
Použití nových NDT metod by umožnilo odhalení podvrchových či mikroskopických poškození. Konkrétně by se jednalo o metodu vířivých proudů nebo využití ultrazvukové metody. Tyto jednotlivé metody budou blíže popsány v následujících podkapitolách.

5.2.1. Elektromagnetická defektoskopie vířivými proudy

Tato metoda je založena na zjišťování změn fyzikálních vlastností zkoušeného předmětu pomocí střídavého magnetického pole. Je vhodná pro magnetické i nemagnetické materiály - všechny elektricky vodivé. Metoda vyhodnocuje výsledný magnetický tok budicí cívky s tokem vybuzených vířivých proudů v testovaném objektu. [13]

Zkoušený objekt s určitou elektrickou vodivostí, magnetickou permeabilitou a určitými rozměry se vystaví působení střídavého magnetického pole, které vytvoří budicí cívka. Následně se v objektu indukují vířivé proudy, které svým magnetickým účinkem zpětně působí na pole budicí cívky. Magnetická pole se skládají do výsledného pole a v měřicí cívce se indukují napětí. [18] Názorná ukázka tohoto principu je zobrazena na Obr. 19.

Princip této metody spočívá na strukturním stavu objektu. Případné nečelistvosti ve struktuře vedou ke změně drah vířivých proudů tak, že zpětný účinek na budicí cívku se změní. [18]



Obr. 19: Princip metody vířivých proudů [19]

Kromě využití na detekci trhliny, povrchových narušení materiálu a poruch svarů se tato metoda může využít k měření tloušťky stěn, měření a kontroly vrstev, kontroly záměn materiálu a mechanického napětí. [18]

Pro zkoušení příruby na vnějším plášti nelze využít metody s průchozí cívkou, proto by byla vhodnější metoda s příložnou cívkou, kdy cívku přikládáme kolmo na zkoušený objekt. Citlivost této metody na trhliny ale s rostoucí hloubkou klesá. Velký vliv má orientace, tvar a velikost vady. [18]

Výhody metody vířivých proudů spočívají v relativně nízké finanční nákladnosti oproti rentgenu, možnosti lehkých přenosných přístrojů, není nutná úprava povrchu před kontrolou a umožňuje měření při vyšších teplotách. [18]

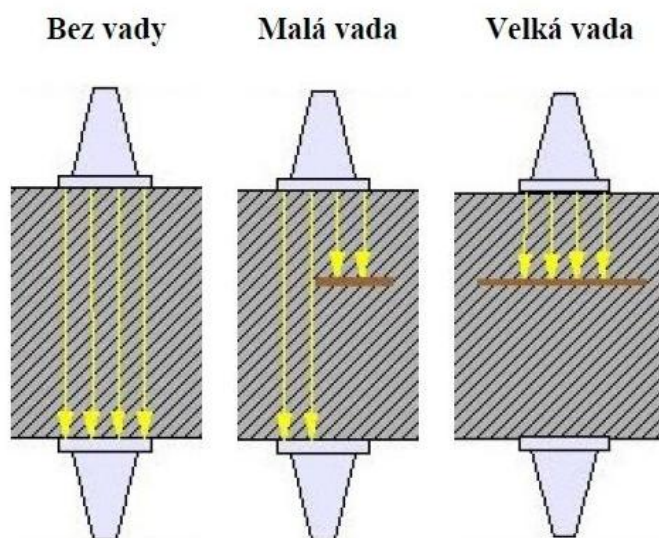
Nevýhodou těchto vířivých proudů je citlivost na rozměry objektu (okrajový efekt) a neindikovatelnost vad pod povrchem. [18]

5.2.2. Ultrazvuková metoda

Tato metoda se začala využívat v důsledku zjišťování vnitřních vad. Klasická ultrazvuková metoda spočívá v šíření zvukových vln o vysokých frekvencích (v řádech MHz). Frekvenční akustické pulzy ze sondy prostupují objektem a odráží se zpět. Detekce defektů se projeví útlumem signálu na přístroji. Dle signálu na obrazovce lze poté určit o jaký defekt se jedná, například plošná či objemová vada. [13]

Pro kontrolu objektů ultrazvukovou metodou je zapotřebí zkušený personál pro nastavení zařízení a následné vyhodnocení výsledků. [13] Zároveň existují dva způsoby zkoušení: metodou průchodovou a metodou odrazovou. Průchodová metoda je vyobrazena na Obr. 20. Princip odrazové metody spočívá v tom, že sonda je zároveň vysílačem i přijímačem. Zvuková vlna se odrazí na rozhraní materiálu a vzduchu, a navrací se zpět do sondy.

Průchodová metoda



Obr. 20: Průchodová metoda [20]

Ultrazvuková metoda je vhodná téměř na všechny materiály, kovové i nekovové. Přístroj je snadno přenosný, což je velká výhoda. Nevýhodou zde může být hned několik parametrů: nutný dobrý kontakt mezi sondou a zkoušeným objektem,

orientace vady a typ. V důsledku těchto nevýhod byly vyvinuty další ultrazvukové metody: TOFD a Phased Array.

TOFD (Time of Flight Diffraction), jakožto difrakční technika měření doby průchodu, se využívá hlavně ke kontrole svarů. Phased Array metoda fázového pole, se využívá k detekci trhlin v geometricky složitých částí, zvyšuje přesnost při určování rozměru vady a detekuje náhodně orientované vady. Přístroje mají také možnost 3D zobrazení vad, což je velkou výhodou. [13]

Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout nový inspekční program, který by zajistil dřívější odhalení nejen trhlin ale i jiných poškození na vnějším plášti kompresoru. Před provedením takového návrhu bylo nutné provést vyhodnocení současného stavu kontroly u vnějšího pláště kompresoru. Motor se kontroluje během provozu a při generálních opravách.

Při převzetí motoru AI-9V do opravárenského závodu se motor podrobí demontáži, umytí a detailnímu přezkoumání, které obnáší přeměřování dílů, vizuální kontrolu a zaslání na NDT zkoušky. Pro vnější plášť kompresoru se využívá kontroly kapilární defektoskopí a to proto, že materiál vnějšího pláště je nemagnetický. Kapilární metoda je účinná, levná ale časově velmi náročná. Celý proces trvá v rozmezí 1-2 hodin.

Současná kontrola se v provozu řeší pouze vizuální metodou, což se jeví jako velmi komplikované a nedostatečné. K dílům, u kterých bylo již dříve zjištěno provozní poškození, je ztížený přístup. Z konstrukčního hlediska a z hlediska uchycení motoru v draku vrtulníku není možné využít nové účinnější NDT metody, a to z důvodu špatného přístupu a následných možných nepravdivých hodnot při měření. Zároveň je ale také nepřijatelné z důvodu lepší kontroly kritického dílu motor AI-9V po letu nebo před letem svěřovat.

S ohledem na dřívější odhalené defekty na konzole se automaticky provádí kontrola uchycení na přírubě vnějšího pláště. Při těchto kontrolách a případných nutných svěšeních by se zde kromě vizuální kontroly mohla využít i nová NDT metoda, která by byla doplnila výše zmíněnou vizuální kontrolu. Jednalo by se o použití metody vířivých proudů nebo ultrazvukovou metodu. Výhodou těchto metod jsou jejich přenositelná zařízení a rychlejší vyhodnocování v porovnání s kapilární metodou.

Pro využití nových a lepších NDT metod, na motoru uchyceném v draku vrtulníku, by se muselo zajistit nové konstrukční řešení při uchycení motoru, a tím získat lepší přístup pro kontrolu. Pro eliminaci defektů by bylo vhodnější zvážit analýzu napětí v uchycení a využít modelování v softwaru. Jakýkoliv možný návrh modifikací by ale

musel být předem schválen držitelem typového osvědčení, a zároveň by bylo vhodné mít podložené důvody k takovému vylepšení a následným změnám.

Dále by bylo vhodné identifikovat příčiny vzniku defektů na přírubě a na závěsu uchycení PEJ. Provést detailní rozbor změn ve způsobu uchycení, a zjistit zda nedošlo během provozu k následujícím změnám jako je použití nelícovaných šroubů nebo použití jiného utahovacího momentu spoje. Tyto změny mohou vést k postupnému uvolnění spoje, a tím způsobit nárůst vibrací v tomto spojovacím uzlu a způsobit tak již zmíněné poruchy v provozu.

Vzhledem k nízkému počtu motorů AI-9V, které se za rok podrobí generální opravě v opravárenském závodě, je současný inspekční program dostačující, a to na základě dosažených výsledků v provozu.

Pro rychlejší vyhodnocení stavu dílů, nejen na motorech AI-9V, by se mohla zvážit koupě nových NDT metod, zmíněných v této bakalářské práci. Finanční nákladnost na pořízení těchto metod by se v porovnání s jejich širším využitím dala zohlednit. Zároveň by bylo nutné zohlednit i náklady spojené s vyškoleným personálem, který by nové defektoskopické přístroje obsluhoval a následně vyhodnocoval.

Seznam použitých zdrojů

- [1] Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): WikimediaFoundation, 2001- [cit. 2017-11-03].
- [2] The-Blueprints.com [online]. [cit. 2018-02-21]. Dostupné z: <https://www.the-blueprints.com/>
- [3] 221.TIGERSquadron [online]. [cit. 2018-02-21]. Dostupné z: <https://221sqn.cz>
- [4] Studopedia - přednášky pro studenty: TEMA 37 [online]. [cit. 2017-12-12]. Dostupné z: https://studopedia.su/14_58724_ne-dopuskaetsya-odnovremenniy-otbor-vozduha-i-elektroenergii.html
- [5] LOM PRAHA [online]. [cit. 2017-11-18]. Dostupné z: <http://www.lompraha.cz/>
- [6] MotorSich [online]. [cit. 2018-01-20]. Dostupné z: <http://www.motorsich.com>
- [7] Interní podnikové dokumenty LOM Praha s.p.
- [8] ADAMEC, Josef a Jindřich KOCÁB. Letadlové motory. Vyd. 2. Praha: Corona, 2008.
- [9] Brigadyrovystranky: AI-9V [online]. [cit. 2017-12-20]. Dostupné z: http://www.brigadyr.net/letecka_tehnika/letecke_opravny_malesice_05/ai9v/ai9v.htm
- [10] Zvláštní specifikace letové způsobilosti: pro motory AI-9V (APU) [online]. 2014, , 17 [cit. 2018-02-21]. Dostupné z: <http://www.caa.cz/file/7533>
- [11] Charakteristiky materiálu 12X17Г9AH4 [online]. [cit. 2018-06-05]. Dostupné z: http://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=743
- [12] LET-45-7/2. Motor AI-9V - Provoz a Instrukce pro provoz a tech. obsluhu motoru AI-9V
- [13] KREIDL, Radislav ŠMÍD. Technická diagnostika: senzory, metody, analýza signálu. Praha: BEN, 2006.

- [14] PTÁČEK, Luděk. Nauka o materiálu I. 2., opr. a rozš. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, c2003. ISBN 80-720-4283-1.
- [15] RŮŽIČKA, Milan. Pevnost a životnost letadel. Praha: České vysoké učení technické, 2000.
- [16] BARTÁK, Jiří, Václav PILOUS a Rudolf KOVAŘÍK. Učební texty pro evropské svářečské specialisty, praktiky a inspektory. Ostrava: ZEROSS, 2002. Svařování. ISBN 80-85771-97-7.
- [17] HAVLÍK, Petr. Mikrostruktura a tvrdost návarů bainitické oceli na kolejnice. Brno, 2010. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Prof. ing. Rudolf Foret, CSc.
- [18] KOPEC, Bernard. Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí: (nauka o materiálu IV). Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008. ISBN 978-80-7204-591-4.
- [19] Jakub Matoušek: ET - Zkoušení výřivými proudy. In: Jakub Matoušek: Nedestruktivní defektoskopie [online]. [cit. 2018-07-18]. Dostupné z: <http://www.matousekhk.cz/et.html>
- [20] KOLOUCH, Jan a Miroslav HLUCHÝ. Strojírenská technologie 1. Ve Scientii 2., opr. vyd. Praha: Scientia, 1998. ISBN 80-7183-150-6.