



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Lukáš Pavlík

VÝKONOVÉ CHARAKTERISTIKY
TURBO-HŘÍDELOVÉHO MOTORU

Bakalářská práce

2015



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):

Lukáš Pavlík

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – TUL – Technologie údržby letadel

Název tématu (česky): **Výkonové charakteristiky turbohřídelového motoru**

Název tématu (anglicky): Performance Characteristics of Turboshaft Engine

Zásady pro vypracování

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

- Úvod
- Popis turbohřídelového motoru
- Stávající stav
- Popis zkušebního zařízení - brzdy
- Požadované cíle
- Návrh řešení
- Závěr

- 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: ADAMEC, Josef; KOCÁB, Jindřich. Letadlové motory
KAMENICKÝ, Ján; LINHART, Zdeněk. Konstrukce leteckých motorů

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Martin Novák, Ph.D.

Ing. Jiří Odstrčil

Datum zadání bakalářské práce:

15. září 2013

(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:

24. srpna 2015

- 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



doc. Ing. Daniel Hanus, CSc.
vedoucí
Ústavu letecké dopravy



prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.



Lukáš Pavlík
jméno a podpis studenta

V Praze dne 30. prosince 2014

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval všem lidem, kteří vynaložili své úsilí k tomu, aby mi pomohli vytvořit tuto práci. Zejména pak mým vedoucím panu Ing. Jiřímu Odstrčilovi a panu Ing. Martinovi Novákovi, Ph.D. nejen za vedení mé práce, ale i za kriticky objektivní přístup k práci. Rád bych také poděkoval Armádě České Republiky a společnosti LOM Praha s. p. za spolupráci a koncepci projektu a v neposlední řadě mé rodině za celkovou podporu mého bytí na fakultě i před ní.

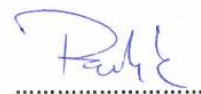
Prohlášení

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

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

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

V Praze dne 17. 5. 2015



.....
podpis

ABSTRAKT

Předmětem bakalářské práce „Výkonové charakteristiky turbo-hřídelového motoru“ je vojenský turbo-hřídelový motor. V první části práce je čtenář obeznámen s motorem a jeho základním popisem. V dalších částech následuje popis aktuálního stavu motoru a po běhu na zkušebně. Následně jednotlivé zásahy provedené na motoru určené k vyřešení stávajících problémů.

Klíčová slova

turbo-hřídelový motor, zásahy na motoru, aerodynamická brzda, výkonové charakteristiky

ABSTRACT

The subject of my bachelor project, which is named „Performance of Turbo-Shaft Engine“ is the military engine. First part of my project you will be introduced with the M 508 engine and its own description. In the other parts I will be more focused on the current engine condition and the aerodynamic brake, than I will move to the engine adjustment and consequences to solve the current problems.

Key words

Turbo-Shaft Engine, Engine Adjustment, Aerodynamic Brake, Performance Characteristics

Obsah

Obsah.....	3
Seznam použitých zkratek, veličin a jednotek.....	4
Úvod	5
1.1 Popis Mi-17 / 171Š /171ŠM.....	6
2 Popis turbo-hřídelového motoru TV3-117	7
2.1 Pomocná palubní jednotka AI-9V.....	7
2.1.1 Základní technické parametry jednotky AI-9.....	8
2.2 Motor TV3-117	9
2.3 Princip motoru TV3-117	11
2.4 Režimy motoru TV3-117.....	12
2.4.1 Základní provozní omezení.....	13
2.4 Kinematika motoru TV3-117	15
2.5 Konstrukce motoru TV3-117	20
2.6 Základní technické parametry motoru TV3-117	39
2.7 Systémy motoru TV3-117	40
2.7.1 Olejový systém	40
2.7.2 Palivový systém	43
2.7.3 Pomocné systémy.....	46
3 Stávající stav	47
4 Popis zkušebního zařízení.....	52
4.1 Příprava motoru pro zkušební běh.....	52
5 Návrh řešení	58
5.1 Úvod do navrhování zásahů	58
5.2 Zásahy na motor TV3-117.....	59
6 Požadované cíle.....	63
7 Závěr.....	65
Seznam použitých zdrojů.....	66

Seznam použitých zkratk, veličin a jednotek

APU	Auxiliary Power Unit	<i>Pomocná pohonná jednotka</i>
AČR	Armáda České Republiky	
ATA	Air Transport Association	
d (m)	Délka	
H (m)	Výška (letová)	
kg	Kilogram	
kW	kilowatt	
l	Litr	
MPa	Megapascal	
m	Metr	
K	Kelvin	
min	Minuta	
min.	Minimální	
min ⁻¹	Otáčky za minutu	
max.	Maximální	
N	Newton	
ot.	Otáčky	
v (m)	Výška	
v _{max} (m/s)	Maximální rychlost	
š	Šířka	
%	Procenta	
°C	Stupeň Celsia	

Úvod

Pro hladký a bezproblémový běh motorů je potřeba motory správně provozovat a udržovat. K tomuto účelu v Evropské unii především používáme dokument „Letová příručka“ (Flight Operational Manual / Aircraft Flight Manual), který je vydán podle normy ATA 100. Avšak když motor vykazuje špatné vlastnosti i před dovršením daného počtu cyklů jemu určených k povinné prohlídce, je motor svěřen z letounu a je poslán na kontrolu do leteckých oprav.

Technická kontrola má za úkol popsat a změřit všechny dostupné veličiny v motoru, míry opotřebení a funkčnost dílů. Poté následně určit problém a ten pomocí důsledných postupů vyřešit. V mojí práci se zaměřuji na základní veličiny. Např. termodynamická veličina – teplota. Ta mne zajímala nejvíce, konkrétně teplota t_3 neboli bude teplota výstupních spalin.

Jelikož jsem dostal cennou nabídku podílet se na opravě turbo-hřídelového motoru ve společnosti L. O. M. Praha, která tyto motory opravuje pro největšího tuzemského zákazníka AČR. Tato práce konkrétně bude pracovat s turbo-hřídelovým motorem TV3-117, který se používá ve vrtulnících Mi-17 a jeho modifikacích.

Jednotlivé kapitoly obsahují obrázkový doprovod společně s konkrétními grafy.

1.1 Popis Mi-17 / 171Š /171ŠM

Mi-17/171 je dvumotorový víceúčelový vrtulník střední hmotnostní kategorie. Pohání ho dva turbo-hřídelové motory TV3-117 a přes reduktor VR-14 je roztáčen pětistý hlavní a třístý vyrovnávací rotor. U Mi-17 je pro spuštění hlavních motorů a jako záložní zdroj stejnosměrného proudu využívána pomocná energetická jednotka motor AI-9V. U verze Mi-171Š a Mi-171ŠM je nahrazena jednotkou SAFIR české výroby.

V přidi stroje sedí dva piloti a mezi nimi na sklopném sedátku palubní technik. V AČR se létá s palubními střelci v nákladové kabině. V nákladové kabině je možno uvést až 4000 kg nákladu. Její rozměry jsou 5,34m x 2,30m x 1,80m (d x š x v). Dovnitř se vejde až 26 cestujících, nebo až 12 lehátek s pacienty. [2]



Obr. 1 Vrtulník Mi-171 ŠM [2]

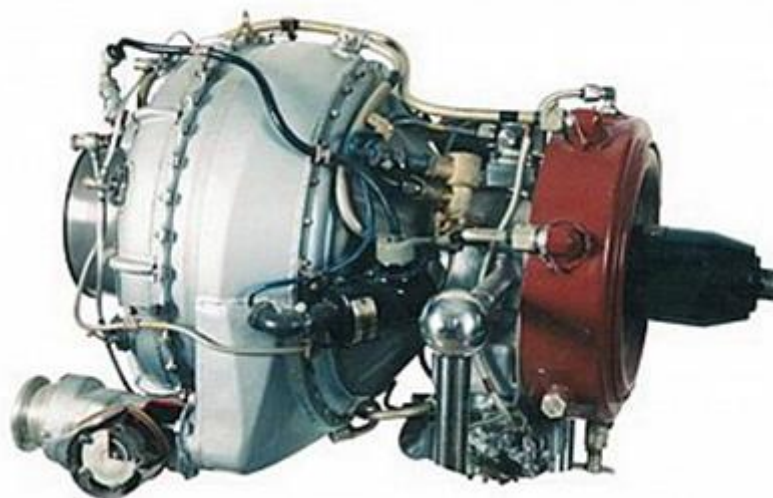
2 Popis turbo-hřídelového motoru TV3-117

2.1 Pomocná palubní jednotka AI-9V

Motor AI-9V je určen k napájení vzduchového spouštěcího systému hlavních motorů TV3-117 na zemi a za letu, k napájení palubní sítě vrtulníku stejnosměrným proudem při kontrole elektrického a radiového vybavení na zemi a k napájení palubní sítě za letu v případě vysazení hlavních napájecích zdrojů.

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. [5]

Tato jednotka je jednoduchá, vysoce spolehlivá, snadno se udržuje a má velmi dlouhou životnost. [4]



Obr. 2 APU AI-9V [4]

2.1.1 Základní technické parametry jednotky AI-9

Otáčky rotoru turbokompresoru

Nominální – volnoběh, odběr vzduchu či elektrického proudu

$$n = (36\,750 \pm 475) \text{ min}^{-1}$$

Mezní maximální

$$n = (39\,150 \pm 475) \text{ min}^{-1}$$

Mezní minimální (umožní rozsvícení žárovky NOM. OTÁČKY)

$$n = (35\,300 \pm 475) \text{ min}^{-1} [5]$$

Teploty

Teplota spalin za turbínou turbokompresoru:

při spouštění – měřená $t_4 = \text{max. } 880 \text{ }^\circ\text{C}$

při nominálním režimu - měřená $t_4 = \text{max. } 720 \text{ }^\circ\text{C}$

při pracovním režimu (s odběrem elektrického proudu nebo s odběrem vzduchu) -

měřená $t_4 = \text{max. } 750 \text{ }^\circ\text{C}$

přepočtená a vztažená ke jmenovitému množství $Q_m \text{ VN} = 0,4 \text{ kg/s}$ odebíraného vzduchu $t_{4 \text{ red vztaž}} = \text{max. } 645 \text{ }^\circ\text{C}$

Teplota odebíraného vzduchu $t_v = \text{min. } 160 \text{ }^\circ\text{C}$

Teplota oleje v nádrži $t_{ol} = \text{max. } 165 \text{ }^\circ\text{C} [5]$

Vzduchový průtok

Průtok vzduchu = $0,38 \text{ kg/s} [4]$

Spotřeba

Maximální spotřeba paliva = $64 \text{ kg/h} [4]$

Tlak

Tlak paliva na vstupu do motoru $p_{pal} = (60 - 170) \text{ kPa}$

Tlak odebíraného vzduchu (celkový, absolutní) $p_v = \text{min. } 290 \text{ kPa} [5]$

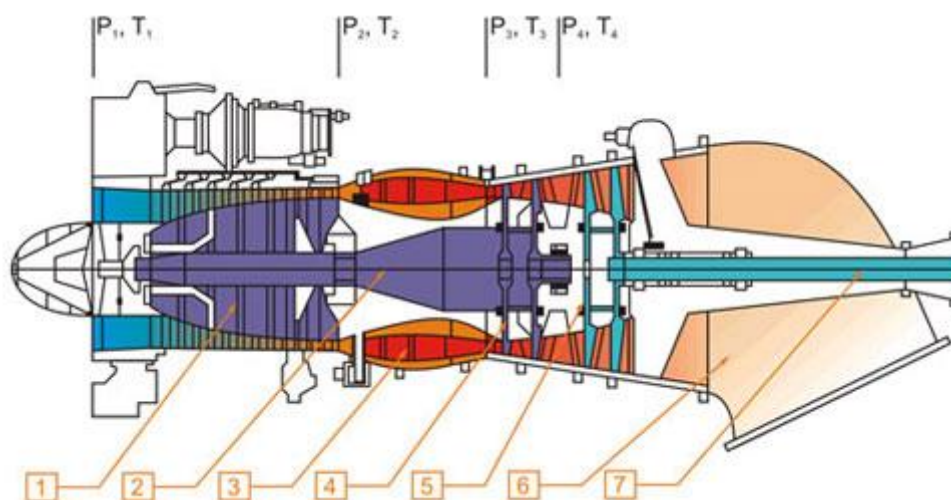
2.2 Motor TV3-117

Turbo- hřídelový motor TV3-117 byl speciálně vyvinut v roce 1972 pro vrtulníky Mi-24 a Mi14. Masově vyráběn začal být roku 1974, kde už byl instalován do 95% všech helikoptér vyrobených inženýrským centrem Mil a Kamov.

Od roku 1974 bylo vyrobeno přes 25 000 kusů tohoto typu motoru, včetně jeho modifikací. Konkrétně najdeme tento motor a jeho modifikace ve vrtulnicích Mi-14P, Mi-17, Mi-172, Mi-28, Mi-8AT a jejich modifikacích a to zejména pro jeho dobré vlastnosti. [6]

Motory TV3-117 které jsou hlavní pohonnou jednotkou vrtulníků Mi-17/171. Montují se i na letouny Antonov-140. Tento motor je turbo-hřídelový s výkonem 2000 až 2400 koňských sil. V Armádě České Republiky působí několik variant tohoto motoru. [1]

Základní schéma turbo-hřídelového motoru TV3-117



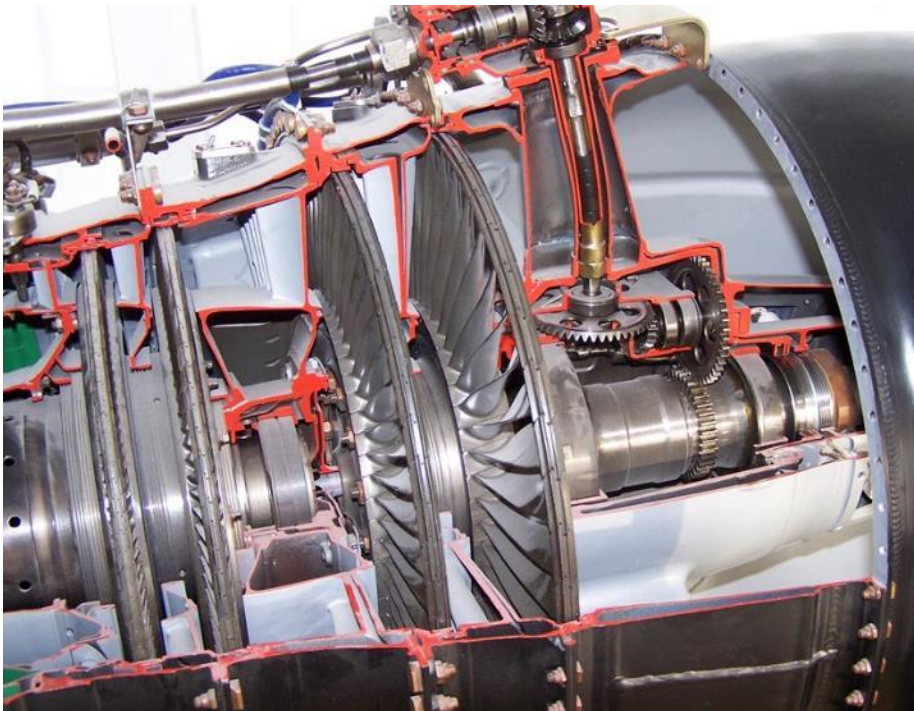
Obr. 3 Schéma motoru TV3-117 [1]

1. Kompresor dvanácti stupňový
2. Hřídel spojující dvoustupňovou turbínu s kompresorem
3. Prstencová spalovací komora
4. Dvoustupňovou turbína kompresoru
5. Dvoustupňová volná turbína
6. Výstupní ústrojí
7. Hřídel od volné turbíny do reduktoru

Motor TV3-117 je určený pro pohon rotoru vrtulníku a pomocných agregátů. Za axiálním vstupním ústrojím najdeme dvanácti stupňový axiální kompresor, který stlačuje vzduch pro prstencovou spalovací komoru. Hned za ní se nachází dvoustupňová kompresorová turbína a následně volná dvoustupňová turbína, která je axiální a reakční.

Oba motory na vrtulníku pracují nezávisle, což umožňuje samostatnou práci jednoho motoru v případě vysazení druhého. Motor je spouštěn pomocí APU, která vytváří proud vzduchu. Ten je přiváděn na turbínu vzduchového spouštěče. Spouštěč roztáčí kompresor motoru a při určených otáčkách dojde k zapálení paliva, po odpojení spouštěče je motor schopen akcelarovat a udržovat volnoběžné otáčky. [1]

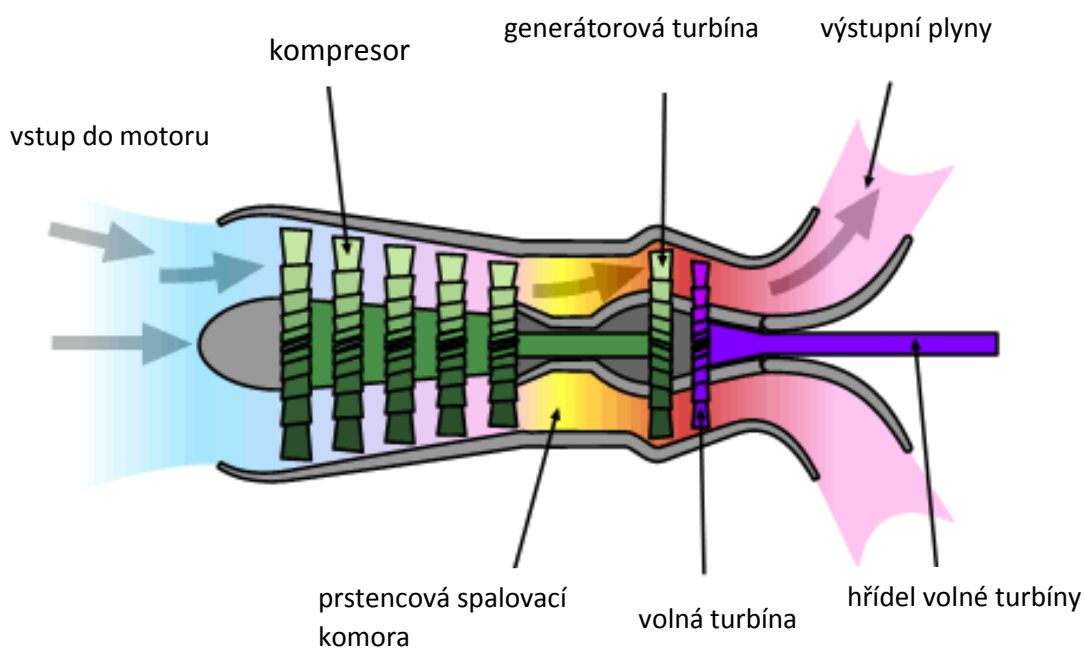
Motory jsou vybaveny systémem automatické regulace otáček nosného rotoru a synchronizací výkonů obou motorů. Kromě automatického ovládání je možné motor ovládat i ručně, přičemž automatické ovládání je hlavní systém a ruční systém záložní. [10]



Obr. 4 Dvoustupňová turbína pohánějící kompresor s volnou turbínou, která pohání rotor a agregáty.

2.3 Princip motoru TV3-117

Proud vzduchu procházející přes vstupní ústrojí je stlačován ve dvanáctistupňovém axiálním kompresoru. V prstencové spalovací komoře získává hořením tekutého paliva tepelnou energii, která se z části spotřebuje k pohonu kompresoru a motorových agregátů. Zbylá část energie je předána na dvoustupňovou volnou turbínu. Výkon volné turbíny je přes drážkovaný torzní hřídel předáván do reduktoru vrtulníku, k pohonu nosného a ocasního rotoru a pohonu drakových agregátů. Výstupní nátrubek odvádí výstupní plyny na pravou nebo levou stranu vrtulníku, v závislosti na místě jeho montáže. [7]



Obr. 5 Schéma principu turbo-hřídelového motoru

2.4 Režimy motoru TV3-117

Volnoběžný režim odpovídá minimálním otáčkám rotoru turbokompresoru, při kterých je motor schopen samostatné stabilní práce. Doba nepřetržité práce motoru na tomto režimu je omezena kvůli nedostatečnému mazání a nebezpečí přehřátí motoru.

II. cestovní režim motoru odpovídá ekonomické rychlosti letu vrtulníku, při které je nejmenší potřebný výkon výkonné jednotky. Při dané rychlosti je největší záloha výkonu, nejmenší spotřeba motoru a z toho vyplývá nejdelší doba letu vrtulníku. Doba nepřetržité práce motoru se při tomto režimu neomezuje.

I. cestovní režim motoru odpovídá optimální rychlosti letu vrtulníku, při které potřebný výkon motoru je vyšší a tím je i větší spotřeba paliva, zároveň je vyšší rychlost letu vrtulníku a vrtulník uletí nejdelší vzdálenost. Doba nepřetržité práce motoru se při tomto režimu neomezuje.

Nominální režim je definován počtem otáček rotoru motoru, které jsou přibližně o 3 – 4 % nižší, než jsou otáčky maximální. Doba nepřetržité práce motoru na tomto režimu se omezuje. Nominální režim chodu motoru se využívá při letech vysokou rychlostí, při prudkém stoupání apod.

Vzletový (maximální) režim je definován maximálními otáčkami rotoru motoru (turbokompresoru) a maximálním výkonem motoru. Doba nepřetržité práce motoru na tomto režimu se omezuje. Vzletový režim motoru se využívá při vzletu vrtulníku nebo při letu maximální rychlostí. [1]



Obr. 6 motor TV3-117 [1]

2.4.1 Základní provozní omezení

a) doba práce motoru na režimech za resurs

- na vzletovém režimu	5%
- na nominálním režimu	40%

b) přípustná doba nepřetržitého chodu motoru v jednotlivých režimech

- vzletový režim	max. 6 min
- nominální režim	max. 60 min
- volnoběžný režim	max. 20 min
- cestovní režim	bez omezení

Poznámka: Minimální doba mezi opakovanými přechody na vzletový nebo nominální režim po odpracování přípustné doby chodu motoru v jednotlivých režimech je 5 min.

Maximální povolené otáčky turbokompresoru

Vzletový režim	101%
Nominální režim	98%
I. cestovní režim	96%
II. cestovní režim	94%

Povolené odchylky otáček turbokompresoru na režimech

Nominální a I. cestovní režim	$\pm 0,5\%$
II. cestovní a nižší režim	$\pm 0,7\%$

Maximální rozdíl otáček rotoru turbokompresoru při společné práci obou motorů

Nominální a I. cestovní režim	2%
Při uvedení do činnosti omezovače teploty plynů	3%
Přechodové režimy	neudává se [9]

Maximální přípustná naměřená teplota plynů před turbínou kompresoru při všech rychlostech a výškách letu

Vzletový režim	990° C
Nominální režim	955° C
I. cestovní režim	910° C
II. cestovní režim	870° C [9]

Tabulka režimů

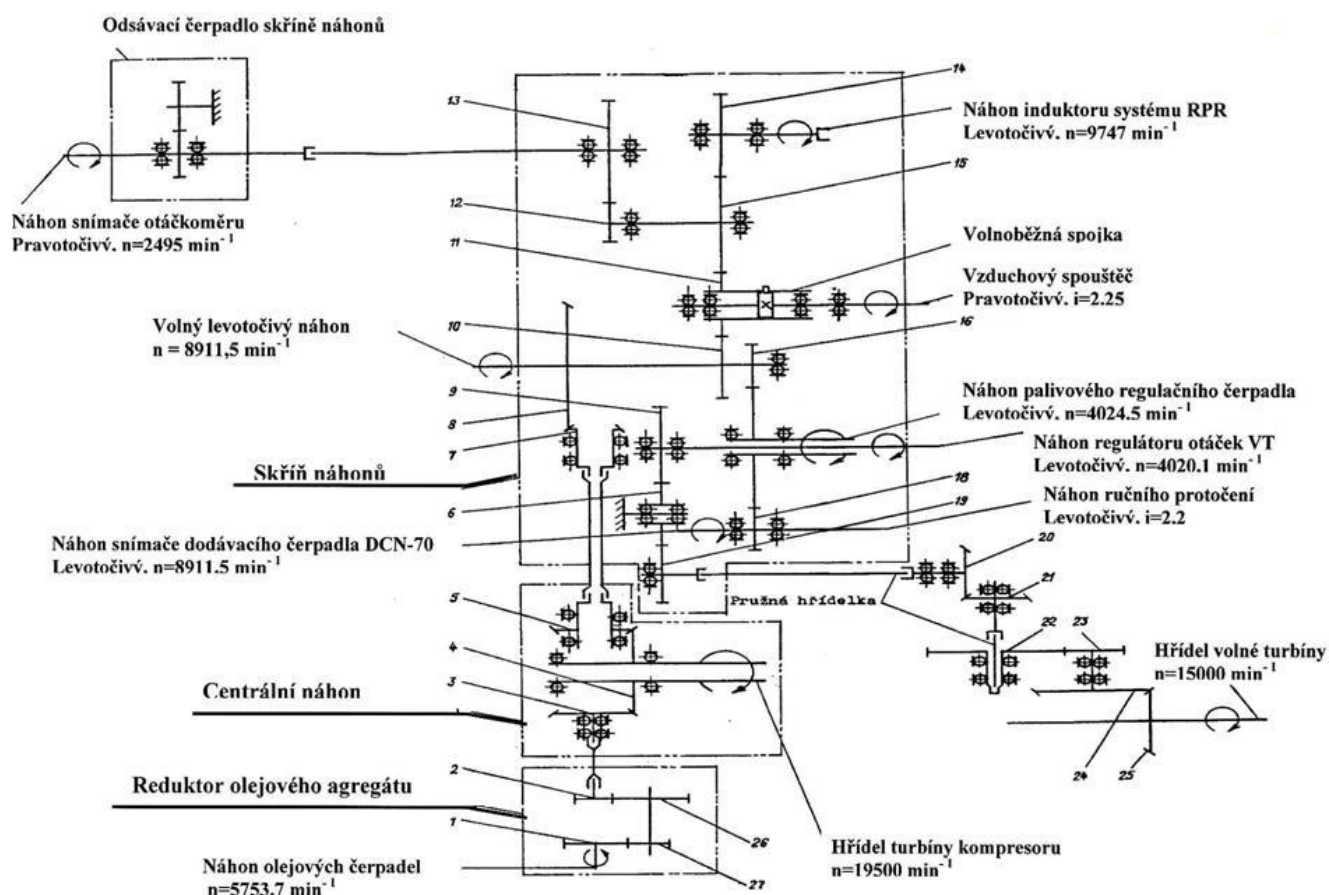
Režim	P_e /kW/	P_e /ks/	n TK /%/	n VT /%/	n NR /%/	T_3 /° C/	C_m /g.kW ⁻¹ .h ⁻¹ /
Vzletový	1636 _{.32}	2225 _{.44}	97,5±0,5/101/	98±1	93±1 /101/	975 /990/	313
Ohraničený vzletový	1434 _{.29}	1950 _{.39}	96,1±0,5/100,5/	98±1	93±1 /101/	935	340
Nominální	1250 _{.25}	1700 _{.34}	94,7±0,5 /98/	100±2	95±2 /101/	900 /955/	340
I.cestovní	1103 _{.22}	1500 _{.30}	93,5±0,5 /96/	100±2	95±2 /101/	830 /910/	370
II.cestovní	882 _{.18}	1200 _{.24}	91,5±0,5 /94/	100±2	95±2 /101/ /103/	830 /870/	395
Volnoběh	max. 147	max.200	73 ⁺⁶	65 _{.5}	40 ⁺¹⁵ /X/	780	Max.165 kg.h ⁻¹

X – při práci jednoho motoru – 55⁺¹⁵ %

Tabulka č. 1 [9]

2.4 Kinematika motoru TV3-117

Kinematika motoru zabezpečuje přenos krouticího momentu z turbín motoru na jednotlivé agregáty motoru a na hlavní reduktor vrtulníku. Kinematika motoru zahrnuje všechny pohybující se části motoru, jejich uložení, vzájemné spojení a přenos krouticího momentu. Kinematika motoru se skládá z částí kinematika turbokompresoru a kinematika volné turbíny. [9]



Obr. 7 Kinematika motoru [9]

Kinematika turbokompresoru

Kinematika turbokompresoru zabezpečuje přenos krouticího momentu z turbíny kompresoru přes kompresor na jednotlivé agregáty systémů motoru.

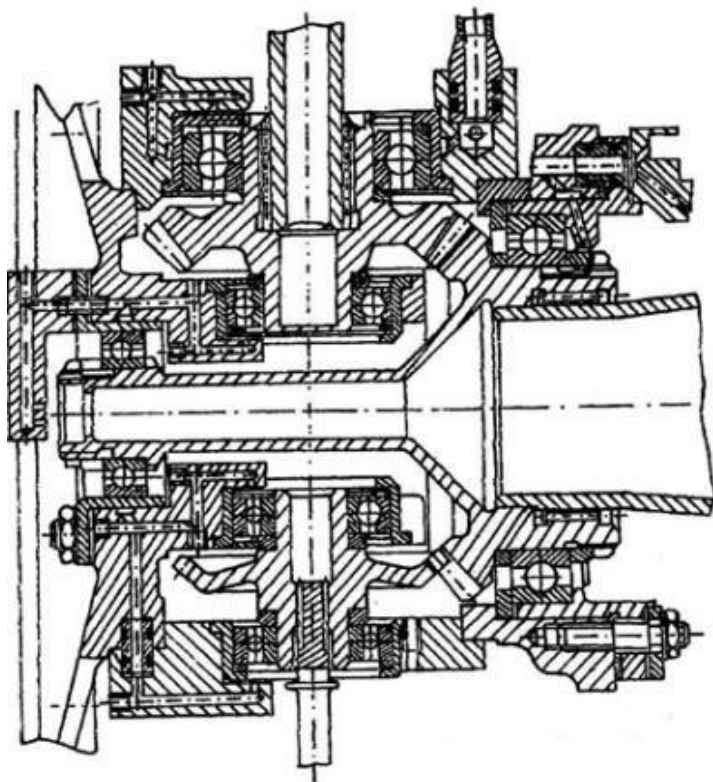
Části:

- rotor turbíny kompresoru
- rotor kompresoru
- centrální náhon
- skříň pomocných náhonů
- olejový agregát

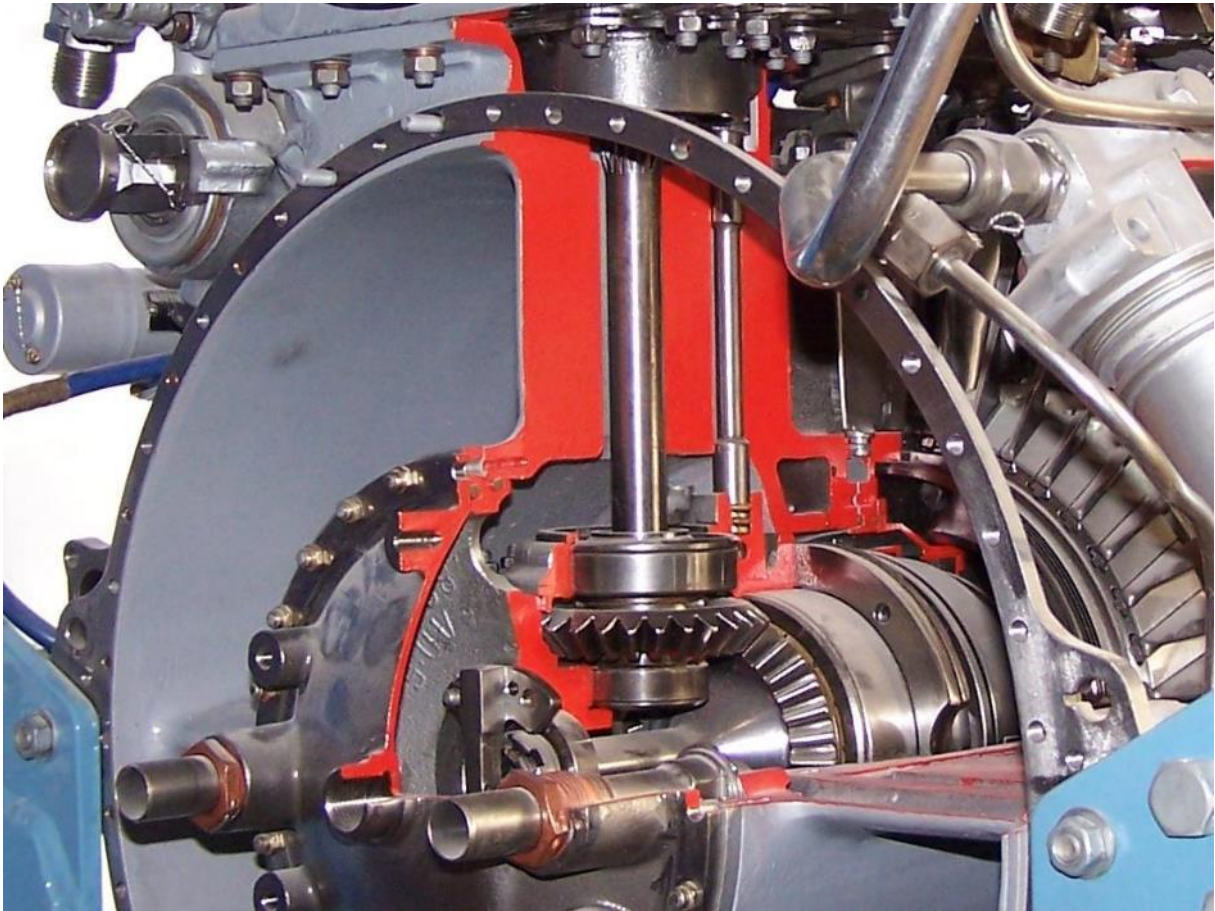
Krouticí moment z hřídele turbíny kompresoru je přes přední čep kompresoru a vložený hřídel předáván na centrální náhon. Z centrálního náhonu je krouticí moment rozveden přes horní vertikální hřídel do skříň pomocných náhonů a přes dolní vertikální hřídel na olejový agregát.

Centrální náhon

Centrální pohon je umístěn v náboji vstupního ústrojí. Skládá se ze skříň vyrobené z lehkých slitin, v níž jsou uložena pouzdra kuličkových ložisek. Ve vnitřním prostoru je umístěna soustava kuželových kol, kterými je krouticí moment předáván z vloženého hřídele k olejovému agregátu a do skříň pomocných náhonů. [10]



Obr. 8 Schéma centrálního náhonu [10]



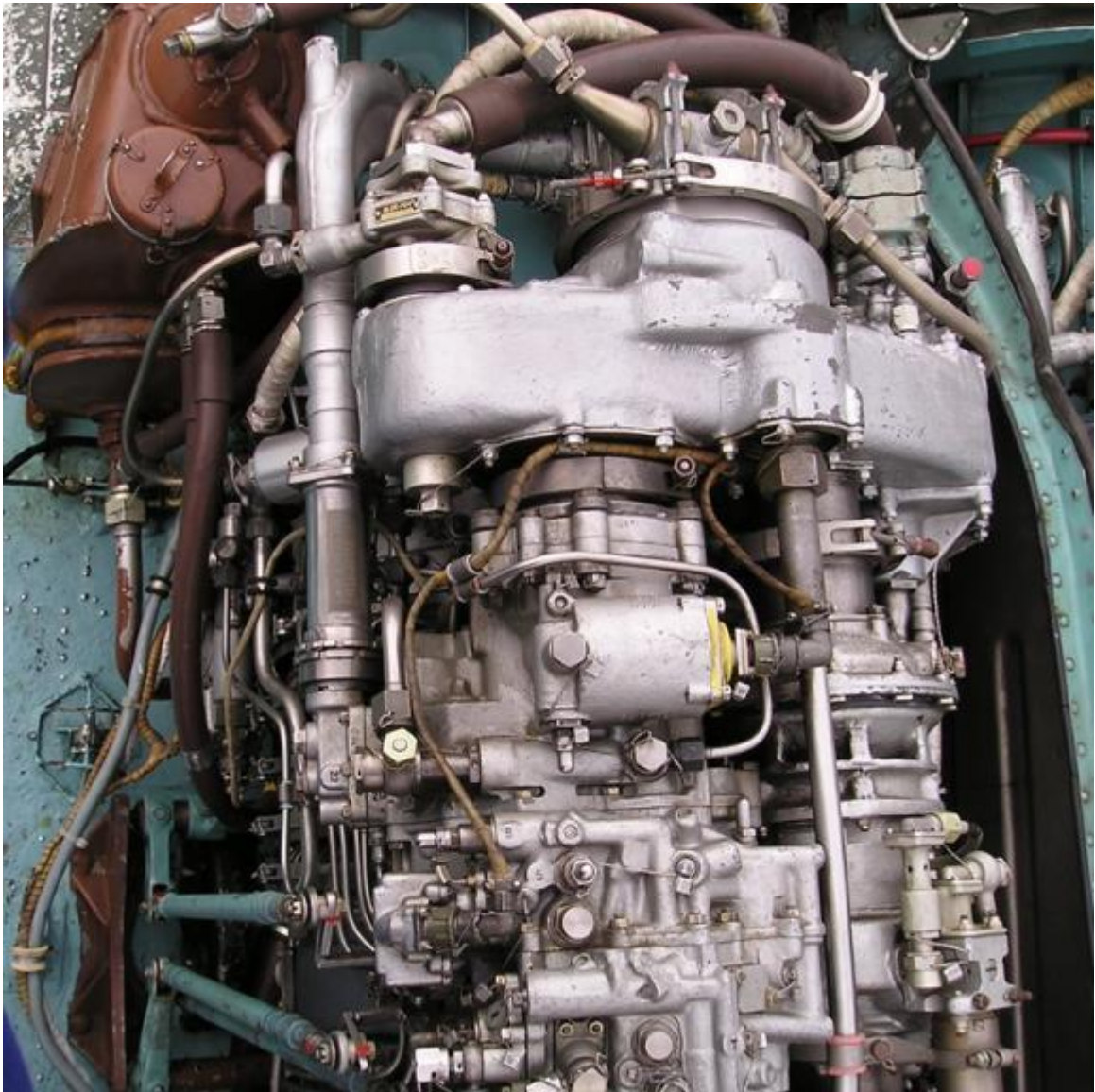
Obr. 9 Centrální náhon

Skříň pomocných náhonů

Skříň je umístěna na horní přírubě vstupního ústrojí. Těleso skříně pomocných náhonů je odlitek z hořčíkových slitin. Ložiska hřídelí ozubených kol jsou umístěna v ocelových pouzdrech zalisovaných do odpovídajících lůžek v tělese. Krouticí moment na jednotlivé agregáty je přenášen soustavou kuželových a přímých ozubených kol. Na skříně pomocných náhonů jsou upevněny následující agregáty:

- vzduchový spouštěč SV-78
- čerpadlo regulátor NR-3A
- dodávací čerpadlo DCN-70
- odsávací olejové čerpadlo skříně pomocných náhonů
- olejový čistič

Ke skříně pomocných náhonů jsou agregáty přichyceny objímkami kromě odsávacího olejového čerpadla, které je připevněno šrouby. Na těleso odsávacího olejového čerpadla je šrouby přišroubován šrouby vysílač otáček turbokompresoru. [10]



Obr. 10 Skříň pomocných náhonů

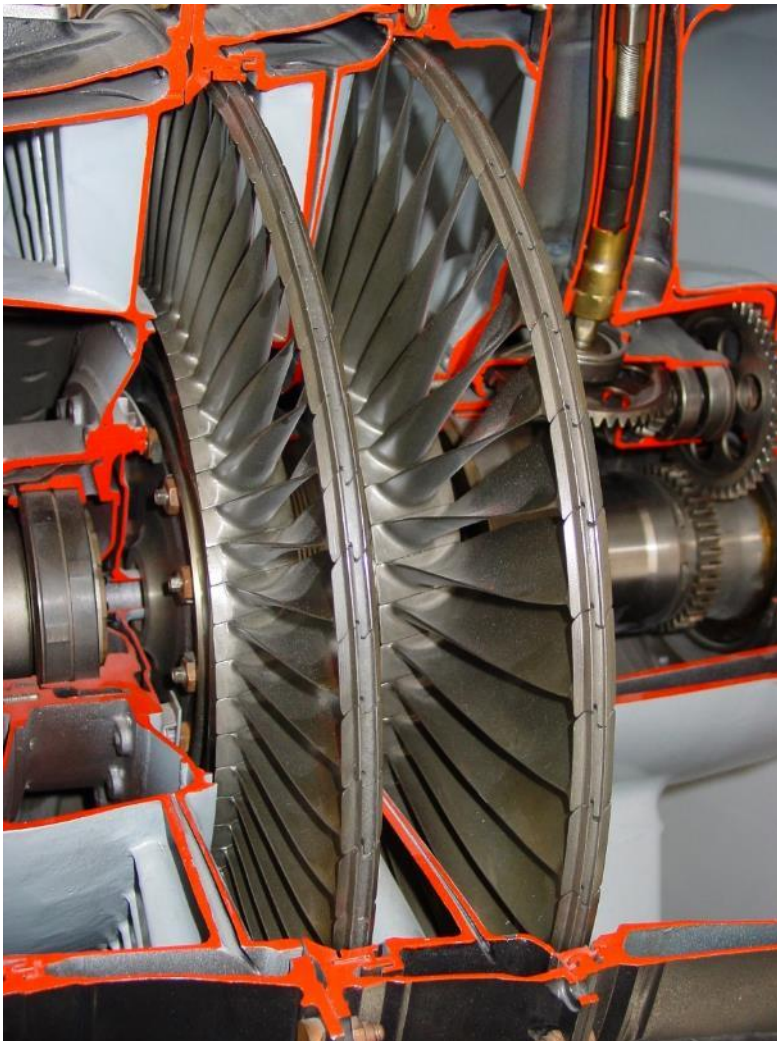
Kinematika volné turbíny

Kinematika volné turbíny zabezpečuje přenos krouticího momentu z volné turbíny na hlavní reduktor a zároveň zabezpečuje pohon regulátoru otáček volné turbíny v čerpadle – regulátoru NR-3A.

Části:

- rotor volné turbíny
- náhon regulátoru otáček
- pomocný reduktor náhonu regulátoru otáček volné turbíny

Krouticí moment z hřídele volné turbíny je na hlavní reduktor vrtulníku přenášén přes vložený hřídel. Z hřídele volné turbíny je brán náhon i pro regulátor otáček volné turbíny. Pohon regulátoru otáček volné turbíny je veden přes dvoustupňový reduktor náhonu v tělese čtvrtého a pátého ložiska, hřídel ve stojině výstupního difuzoru, pomocný reduktor, pružný hřídel do skříně pomocných náhonů a dále do čerpadla – regulátoru NR-3A. [10]

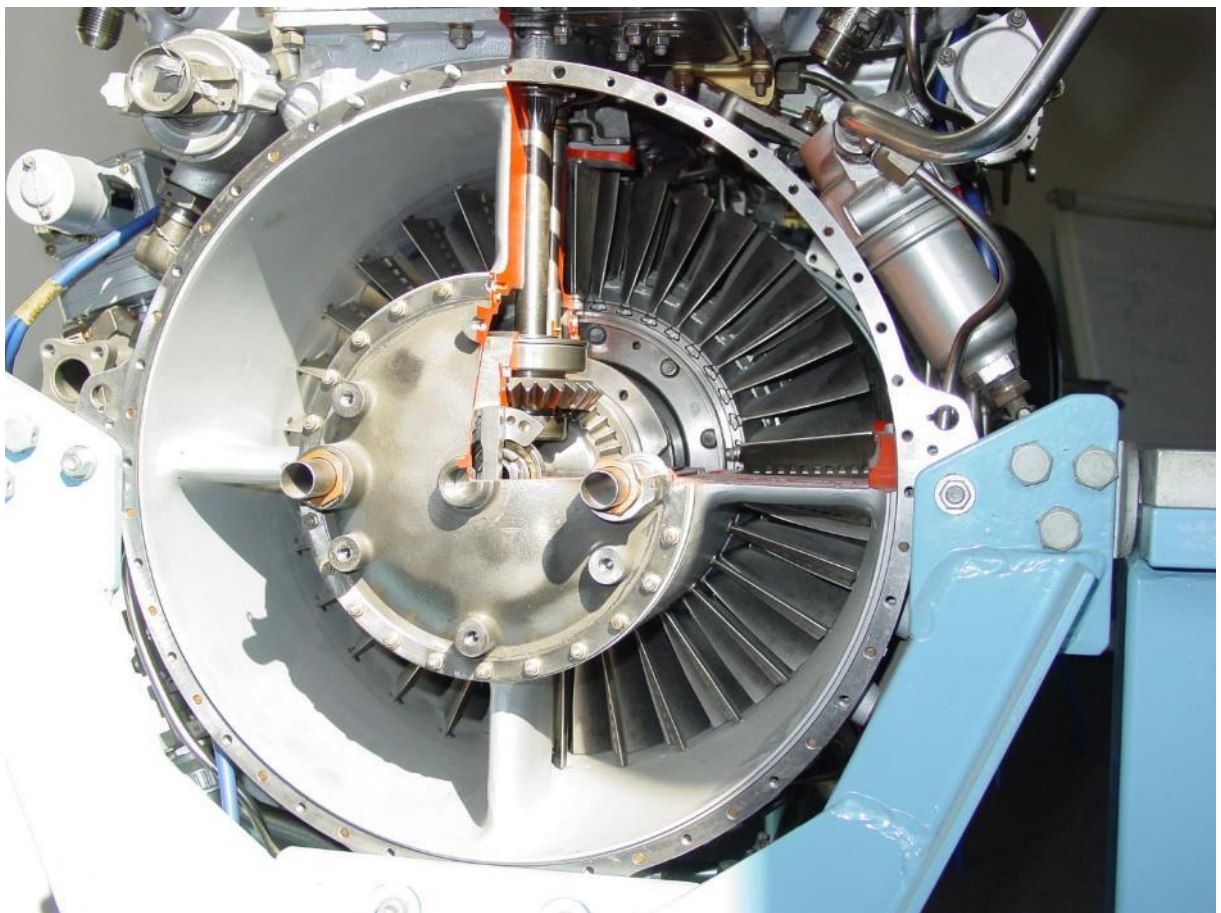


Obr. 11 Volná turbína

2.5 Konstrukce motoru TV3-117

Vstupní ústrojí

Vstupní ústrojí zabezpečuje bezztrátovou dopravu vzduchu a jeho usměrnění na lopatky rotoru kompresoru. Vstupní ústrojí je axiálního typu. Na jeho povrchu jsou upevněny agregáty motoru a uvnitř náboje je centrální náhon a první ložisko motoru. Vstupní ústrojí je vybaveno usměrňovacím zařízením s natáčenými lopatkami v rozsahu 27° až -3° . [10]



Obr. 12 Vstupní ústrojí

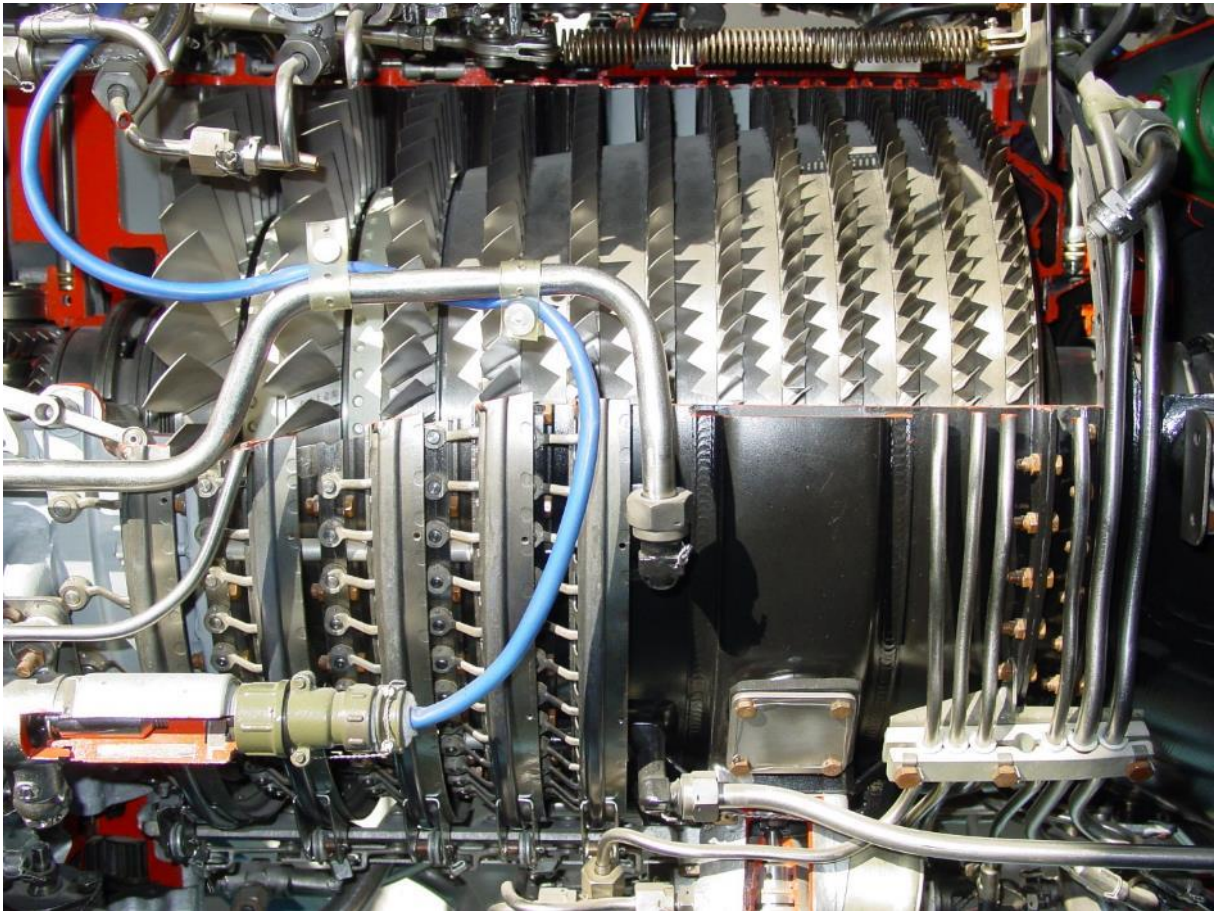
Lopatky usměrňovacího ústrojí jsou duté, vyrobené z oceli a na odtokové hraně mají štěrbinu pro výstup teplého vzduchu. Lopatek je 30 kusů. Lopatky jsou uloženy na vnějších a vnitřních čepech. Vnější čepy zapadají do pouzder ze skleněných vláken prosycených (spojených) floroplastem, jež nahrazují ložiska. Vnitřní čepy mají válcovitý tvar a jsou duté. Je jimi přiváděn teplý vzduch do lopatek. Čepy zapadají do ložiska tvořeného tělesem a objímkou. Lopatky jsou ovládány pákami, které jsou nasunuty na horní čepy lopatek a jsou zajištěny kolíky s rozválcovanými konci. Tyto páky zapadají do ok ovládacího prstence. Z jedné lopatky na levé straně motoru je vyveden mechanický ukazatel polohy a zároveň je k ní připevněn elektrický vysílač polohy lopatek. Lopatky jsou nastaveny v rozsahu 27° až -3° .

Na tělese vstupního ústrojí jsou na konzolách upevněny tyto agregáty:

- vpravo- olejový čistič
 - klapka 1919T odběru vzduchu
 - snímač tlaku paliva a oleje
 - zapalovací agregát
- vlevo - palivový čistič
 - výkonný mechanismus IM-3A
 - vysílač polohy nastavitelných lopatek [10]

Kompresor

Kompresor slouží ke stlačení vzduchu přiváděného do motoru a k jeho dodávce do spalovací komory. Kompresor je axiální, dvanáctistupňový s natáčenými lopatkami prvních čtyř stupňů statoru kompresoru. Natáčení lopatek je prováděno automaticky. Úhel nastavení lopatek je na zemi 27° . Rozsah natáčení je v rozsahu 27° až -3° . Pro zachování stability práce je kompresor vybaven kromě natáčení lopatek i dvěma upouštěcími ventily. Stupeň stlačení kompresoru je $\pi K = 9,55$. [10]



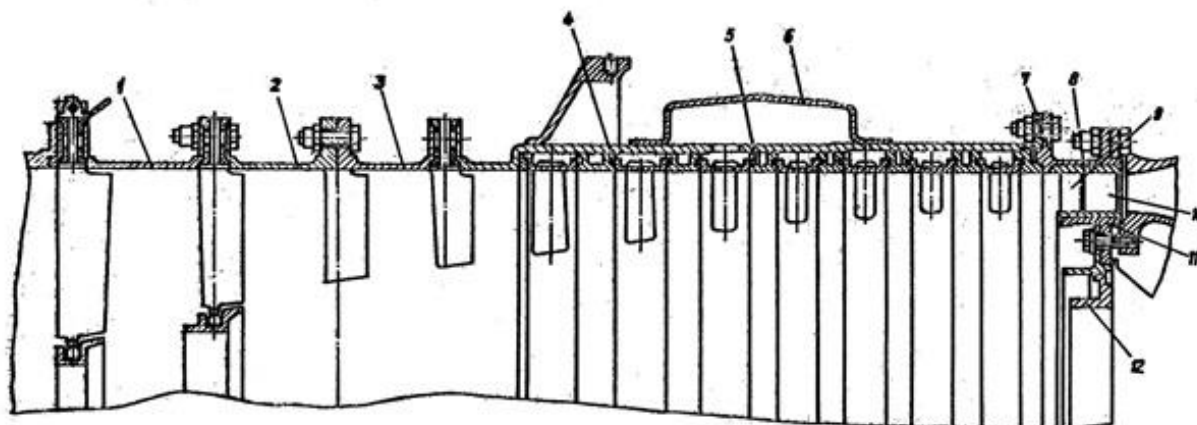
Obr. 13 Axiální dvanáctistupňový kompresor

Hlavní části:

- Stator kompresoru
- Rotor kompresoru
- Těleso prvního ložiska
- Těleso druhého ložiska
- Mechanismus natáčení statorových lopatek
- Odpouštěcí ventily

Stator kompresoru

Stator kompresoru mění kinetickou energii vzduchu na tlakovou a tepelnou energii, zároveň usměrňuje proud vzduchu na lopatky rotoru kompresoru. [10]



Obr. 14 Schéma statoru kompresoru [10]

1, 2, 3, 4 – část skříně kompresoru; 5 – prstenec oběžného kola; 6 – plášť; 7 – vnější plášť usměrňovacího ústrojí; 8 – prstenec usměrňovacího ústrojí; 9 – lopatka rozváděcího ústrojí; 10 – lopatka usměrňovacího ústrojí; 11 – prstenec usměrňovacího ústrojí; 12 – labyrintový prstenec

Statorové lopatky 1. až 4. stupně jsou vyrobeny z titanové slitiny. Lopatky 1. a 2. stupně jsou uloženy na vnějších a vnitřních čepech. Vnější čep je uložen v pouzdře ze skelných vláken napuštěných floroplastem. Tato pouzdra plní funkci ložiska. Spodní (vnitřní) čepy mají soudkovitý tvar a jejich povrch je chráněn speciální slitinou s nízkým koeficientem tření. Vnitřní čepy jsou zasunuty do lůžek rozebíratelných prstenců kompresoru.

Lopatky 3. a 4. stupně mají též vnější čepy, na které jsou nasunuty páčky zajištěné kolíkem s rozválcovaným koncem. Páčky zapadají do prstenců a umožňují natáčení lopatek. Takto je to provedeno i u lopatek 1. a 2. stupně.

Lopatky 5. až 11. stupně jsou ocelové vyrobené ze dvou částí. Lopatky jsou zasunuty do vnějších věnců, které jsou upevněny v drážkách prstenců oběžného kola kompresoru.

Lopatky 12. stupně jsou ocelové a jsou zasunuty do dvou řad profilovaných otvorů ve vnějším a vnitřním prstenci, s kterým tvoří nosný celek. [10]

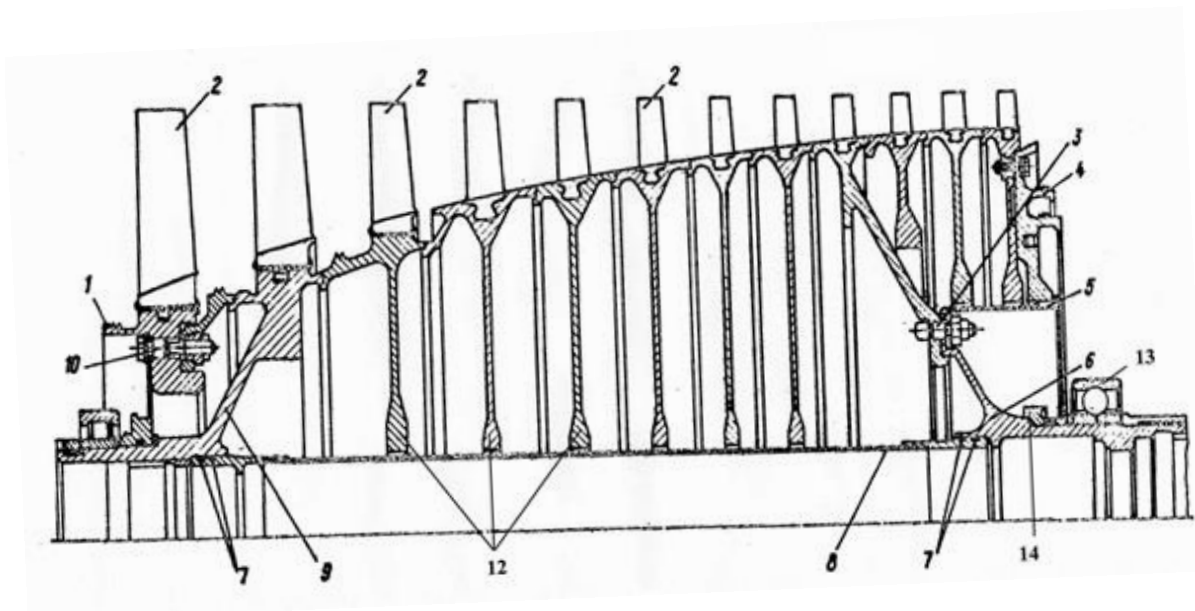
Počty lopatek statoru jednotlivých stupňů

Stupeň	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Počty lopatek (ks)	60	60	60	60	80	84	84	88	88	90	90	114

Tabulka č. 2 [10]

Rotor kompresoru

Rotor kompresoru zvyšuje přivedením mechanické práce tlakovou, tepelnou a kinetickou energii vzduchu. Rotor kompresoru je disko-bubnové konstrukce.



Obr. 15 Schéma rotoru kompresoru [10]

1 – labyrintové těsnění; 2 – lopatky; 3 – šroub; 4 – labyrintové těsnění; 5 – clona; 6 – zadní čep; 7 – pryžové kroužky; 8 – plášť; 9 – přední čep; 10 – šroub; 12 – disky rotoru kompresoru; 13 – ložisko; 14 – dorazy uzlů grafitových těsnění

Lopatky všech stupňů jsou vyrobeny z titanových slitin. U prvních tří stupňů jsou nasunuty do podélných drážek a zajištěny plechovými podložkami. U ostatních stupňů jsou nasunuty do příčných drážek a zajištěny roztažným nýtem. [10]

Počty lopatek jednotlivých stupňů rotoru kompresoru

Stupeň	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Počty lopatek (ks)	37	43	59	67	73	81	89	89	89	89	89	89

Tabulka č. 3 [10]



Obr. 16 Rotor kompresoru

Těleso prvního ložiska motoru

Těleso prvního ložiska motoru slouží k uložení prvního válečkového ložiska kompresoru zachycujícího radiální síly od rotoru kompresoru.

Těleso druhého ložiska motoru

Těleso druhého ložiska motoru slouží k uložení druhého kuličkového ložiska rotoru kompresoru a k přenosu axiálních a radiálních sil od rotoru kompresoru.

Mechanismus natáčení statorových lopatek

Mechanismus natáčení statorových lopatek slouží k ovládnutí natáčených lopatek. Natáčený jsou lopatky usměrňovacího zařízení vstupu a prvních čtyř stupňů statoru kompresoru.

Natáčení lopatek je zajištěno tlakovým palivem od čerpadla regulátoru NR-3A v závislosti na přepočítávaných otáčkách rotoru turbokompresoru. [10]

Odpouštěcí ventily

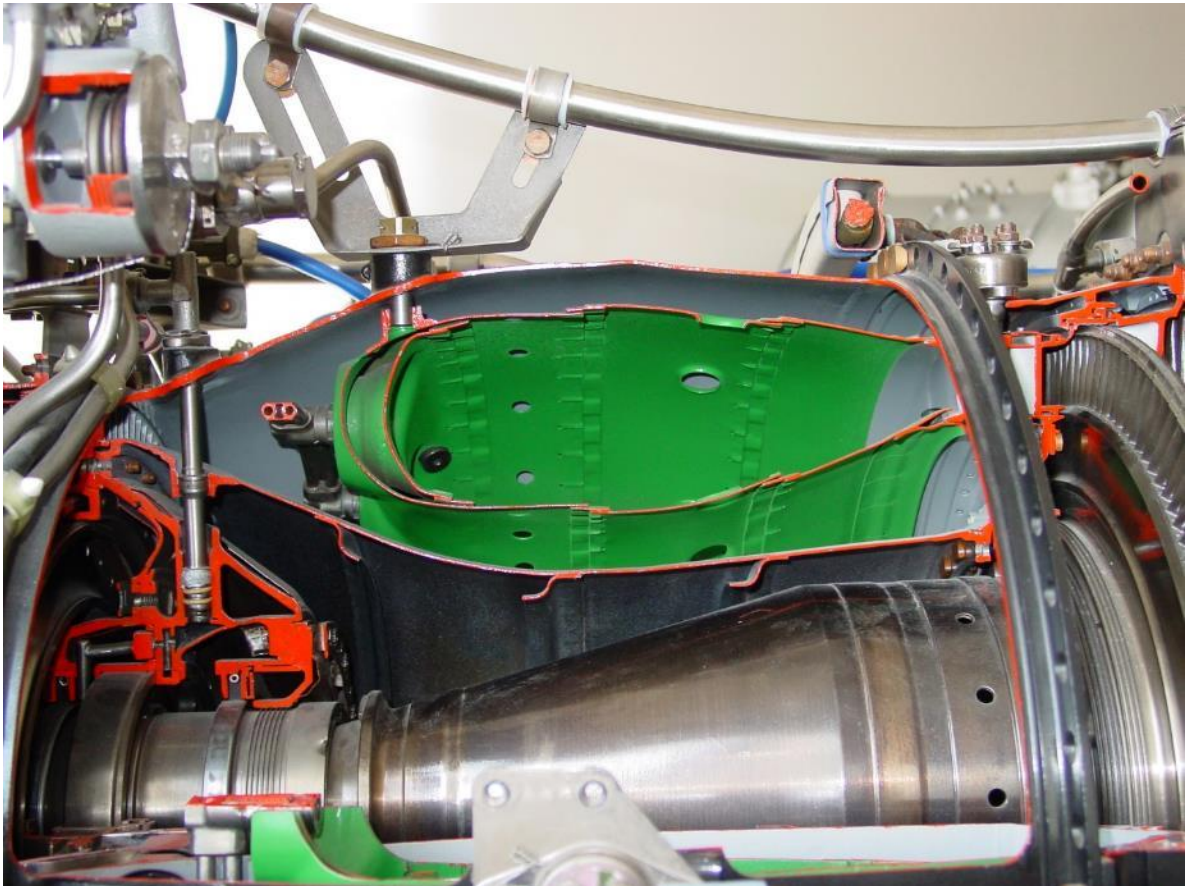
Odpouštěcí ventily slouží jako proti-pumpážní zařízení. Ovládány jsou přepínacím ventilem v pomocném pracovním válci natáčení lopatek.



Obr. 17 Odpouštěcí ventil

Spalovací komora

Spalovací komora zabezpečuje přeměnu chemické energie paliva na tepelnou a kinetickou energii proudu plynů. Spalovací komora je prstencového typu. Palivo je do ní přiváděno dvanácti provozními dvoukanálovými palivovými tryskami.



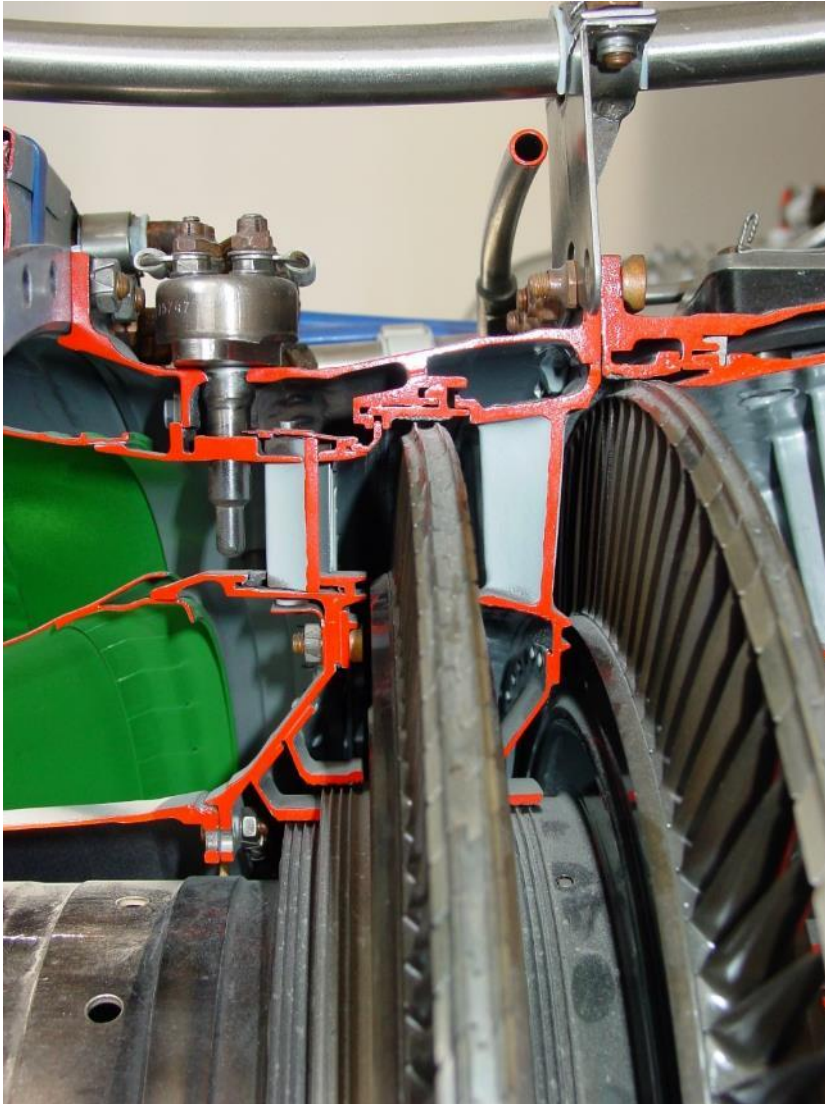
Obr. 18 Spalovací komora

Hlavní části:

- Vnější plášť
- Vnitřní plášť
- Plaměnc
- Palivový kolektor s palivovými tryskami [10]

Turbína kompresoru

Turbína kompresoru zabezpečuje přeměnu tepelné a tlakové energie na mechanickou práci, kterou využíváme pro pohon kompresoru a agregátů motoru. Turbína kompresoru je axiální, reakční, dvoustupňová.



Obr. 19 Turbína kompresoru

Stator turbíny kompresoru

Stator turbíny kompresoru usměrňuje proud plynů na lopatky turbíny kompresoru. Zabezpečuje přeměnu tepelné a tlakové energie proudu plynů na energii kinetickou.

Rozváděcí ústrojí I. stupně je tvořeno vnějším věncem, šedesáti třemi lopatkami, vnitřním věncem a přírubou. Vnější věnec je šrouby z přední strany upevněn k vnitřní přírubě skříňě. Pro upevnění jsou využity kluzné části bez porušení odstředění. V zadní části je věnec nasunutý na objímku. Ve vnějším věnci jsou vytvořeny profilované výřezy pro montáž lopatek a dvacet jedna otvorů pro montáž termočlánků.

Vnitřní věnec je šrouby spojen s přírubou upevněnou k vnitřnímu plášti spalovací komory. K šikmé přepážce příruby je upevněno těleso těsnění. Na plochy těles těsnění jsou nanášeny vrstvy kovokeramické hmoty. Na vnitřním věnci jsou profilované výřezy pro montáž lopatek.

Lopatky jsou duté odlité z kvalitních ocelových slitin. Do patek lopatek jsou vložena pouzdra, kterými jsou lopatky upevněny a zároveň je jimi přiváděn vzduch na chlazení lopatek. Vypadnutí pouzder je zabráněno nákrůžkem ve tvaru "L".

Skříň a všechny upevňovací prvky jsou chráněny speciálním nátěrem černé barvy KO- 818K.

Rozváděcí ústrojí II. stupně je odlitek. Skládá se z vnějšího věnce, padesáti pěti dutých lopatek a vnitřního věnce. Rozváděcí ústrojí je upevněno vnějším věncem k objímce v přední části a v zadní části opřením o objímku rotoru II. stupně. Vystředění je provedeno kolíky v zadní části. K vnitřnímu věnci je přinýtována šikmá přepážka s tělesem těsnění, na kterém je nanášena kovokeramická hmota. [10]

Rotor turbíny kompresoru

Rotor turbíny kompresoru mění vnitřní energii plynů na mechanickou práci.

Hřídel je dutý vyroben z svařováním z kvalitní oceli. V přední části má na povrchu evolventní drážkování pro přenos krouticího momentu rotoru kompresoru a uvnitř závit pro stahovací matici. Na povrchu je dále objímka pro montáž vyvažovacích závažíček zajištěných kolíky. Dále jsou v hřídeli otvory pro průchod chladicího vzduchu. V zadní části se hřídel rozšiřuje a je opatřen čelním drážkováním pro spojení s pracovními disky. V rozšířené části jsou otvory pro stahovací šrouby.

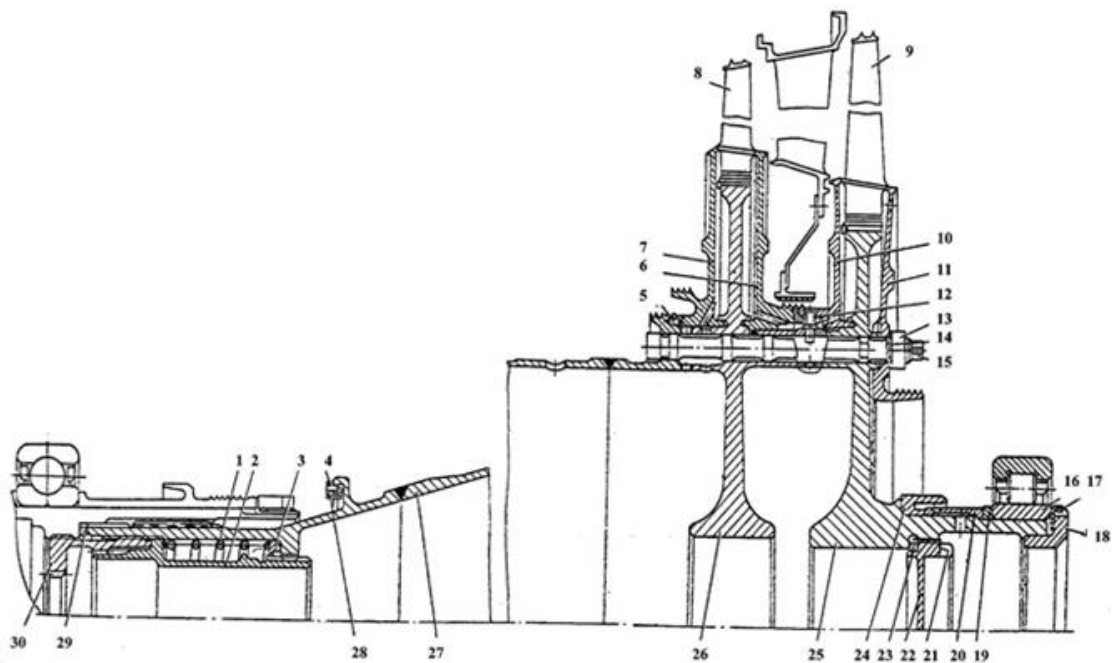
Disky jsou výkovky z kvalitní oceli. Na vnějších věncích disků jsou vytvořeny stromečkové zámky (a drážky) pro nasunutí lopatek. Hřídel a disky jsou navzájem vystředěny a spojeny čelními drážkami. Vzájemné spojení je provedeno dvanácti lícovanými šrouby, jejichž matice jsou zajištěny podložkami. Disk II. stupně přechází v zadní části do čepu.

Krycí disky chrání povrch pracovních disků plynové turbíny, usměrňují chladicí vzduch a zajišťují lopatky proti osovému posunu. Jsou vyrobeny z kvalitní oceli a jsou nasazeny na nákržky pracovních disků. Proti pootočení je první krycí disk zajištěn osmi kolíky, druhý a třetí krycí disk šesti zarážkami. Čtvrtý krycí disk je zajištěn šrouby. Na povrchu krycích

Lopatky jsou vyrobeny z kvalitní oceli. V discích jsou upevněny v stromečkových zámcích. Na koncích lopatek jsou bandáže s břity těsnění, které zvyšují pevnost lopatek při kmitání a zároveň utěsňují rotor plynové turbíny kompresoru. První stupeň rotoru turbíny má 133 lopatek a druhý 101 lopatek.

Spojení rotoru turbíny a kompresoru je provedeno stahovací (spojovací) maticí, která se spojuje s hřídelí turbíny závitem se stoupáním 1,5 mm a se zadním čepem kompresoru závitem se stoupáním 4 mm. Při montáži motoru se spojovací matice nejdříve našroubuje na stanovenou vzdálenost na hřídel turbíny a potom se v podstatě vyšroubuje z hřídeli turbíny na hřídel kompresoru. Krouticí moment se přenáší evolventním drážkováním.

Vyvažování motoru je provedeno vyvažovacími závažíčky a odebráním (odvrtáním, odpilováním) materiálu z krycích disků. [10]



Obr. 20 Schéma rotoru turbíny kompresoru [10]

1 – pružina pojistky; 2 – pojistka; 3 – opěrná podložka; 4 – kolík; 5 – kolík; 6 – druhý krycí disk; 7 – první krycí disk; 8 – oběžná lopatka prvního stupně; 9 – oběžná lopatka druhého stupně; 10 – třetí krycí disk; 12 – zarážka; 13 – matice; 14 – plochá podložka; 15 – stahovací šroub; 16 – třetí ložisko motoru; 17 – zajištění; 18 – matice; 19 – podložka; 20 – pouzdro; 21 – zajištění; 22 – matice; 23 – kroužek; 24 – pouzdro těsnění; 25 – disk druhého stupně; 26 – disk prvního stupně; 27 – hřídel; 28 – vyvažovací závaží; 29 – vložený kroužek; 30 – stahovací pouzdro

Těleso třetího ložiska motoru

Těleso třetího ložiska motoru zabezpečuje uložení rotoru turbíny kompresoru v zadní části a přenáší radiální síly. [10]

Chlazení turbíny kompresoru

Chlazení turbíny kompresoru slouží pro získání zálohy pevnosti a spolehlivosti turbíny kompresoru. Turbína kompresoru je chlazena sekundárním proudem vzduchu.

Požadovaná teplota pracovních částí turbíny se zabezpečí chlazením sekundárním vzduchem a odizolováním části motoru od horkých plynů.

Sekundární vzduch, odebraný z prostoru mezi vnějším pláštěm spalovací komory a plamencem, prochází prostorem mezi skříní turbíny kompresoru a vnějšími věnci rozváděcích ústrojí turbíny. Část tohoto vzduchu prochází dutými lopatkami rozváděcího ústrojí druhého stupně, postupuje na labyrintové těsnění a tvoří vzduchovou izolaci krycích disků a zároveň je chladí. Prostorem mezi disky a vnitřním věncem rozváděcího ústrojí druhého stupně odchází do proudu plynů. Zbytek vzduchu odchází přes otvor za druhým stupněm rozváděcího ústrojí do proudu plynů. Sekundární vzduch z prostoru mezi plamencem a vnitřním pláštěm spalovací komory je rozdělen na dvě části:

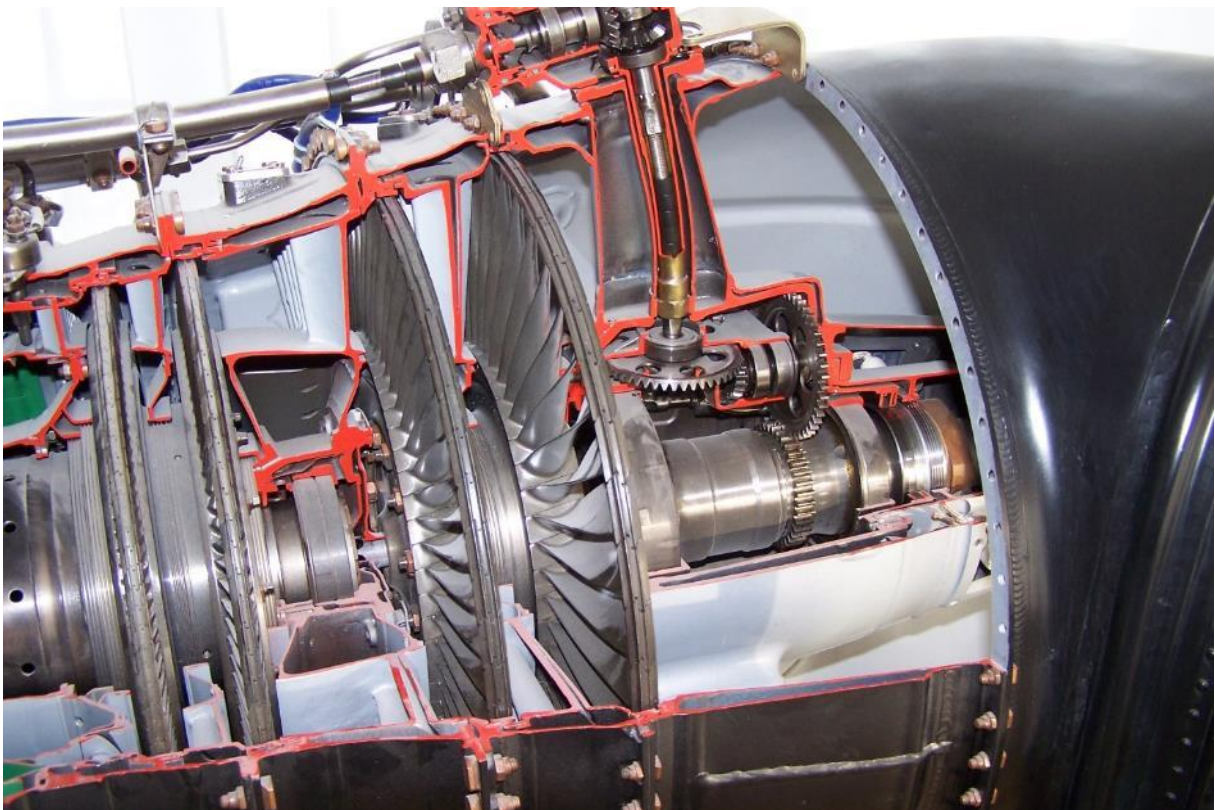
- 1. první část vzduchu prochází dutými lopatkami rozváděcího ústrojí prvního stupně a směšuje se s horním chladícím proudem vzduchu
- 2. druhá část vzduchu vstupuje přes otvory v šikmé přepážce do prostoru mezi vnitřním pláštěm spalovací komory a hřídelí turbíny kompresoru, odkud se rozvádí dvěma směry:
 - část vzduchu proudí přes labyrintové těsnění do prostoru mezi šikmou přepážkou a první krycí disk prvního stupně rotoru, ochlazuje je a odchází do proudu plynů před rotorem prvního stupně turbíny kompresoru
 - část vzduchu jde přes otvory v hřídeli do dutiny "D". Odtud jde část vzduchu vyfrézovanými otvory v disku do prostoru mezi první krycí disk a disk prvního stupně rotoru, chladí je společně se zámkami a lopatkami a netěsnostmi v zámcích a otvory v krycím disku odchází do proudu plynů [10]

Zbytek vzduchu vstupuje do prostoru "E", z kterého přes čelní drážkování a průvrty vstupuje mezi:

- a) druhý krycí disk a disk prvního stupně, chladí zadní stranu disku prvního stupně a otvory na kraji krycího disku odchází do proudu plynů
- b) třetí krycí disk a disk druhého stupně, chladí přední stranu disku, zámky a patky lopatek a netěsnostmi v zámcích a otvory na kraji krycího disku odchází do proudu plynů
- c) čtvrtý krycí disk a disk druhého stupně, chladí zadní stranu disku a otvory na kraji krycího disku odchází do proudu plynů [10]

Volná turbína

Volná turbína zabezpečuje přeměnu tepelné a tlakové energie proudu plynů na mechanickou práci, která je využita pro pohon nosného rotoru a vyrovnávacího rotoru vrtulníku přes hlavní reduktor. [10]



Obr. 21 Volná turbína

Rotor volné turbíny

Rotor volné turbíny mění vnitřní energii plynů na mechanickou práci.

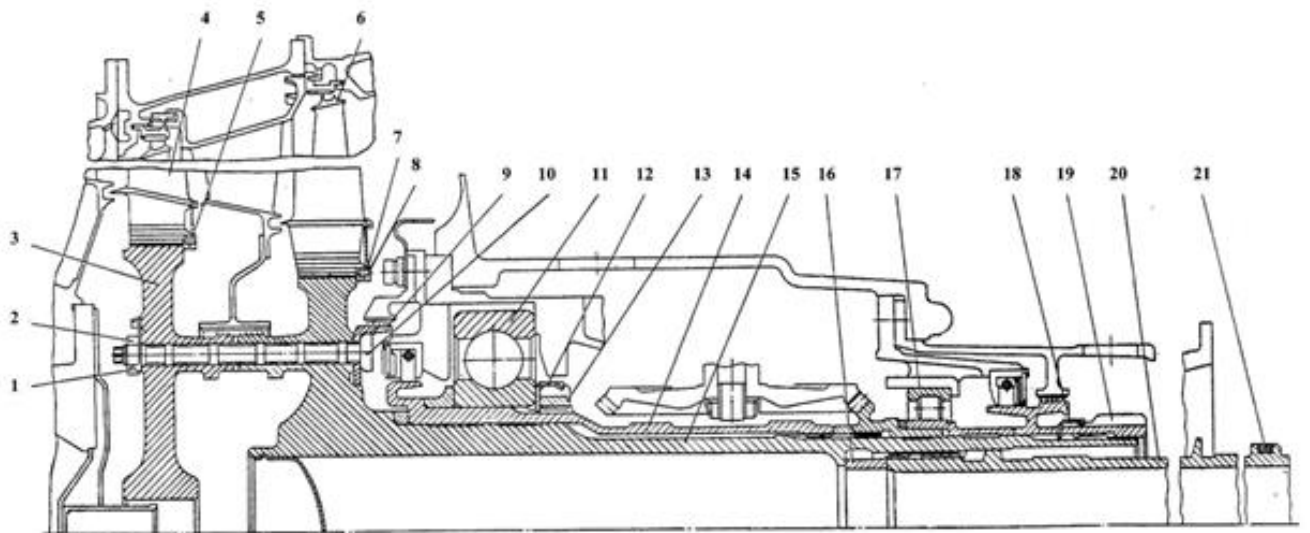
Části

- hřídel
- disky
- lopatky

Hřídel je součástí disku druhého stupně volné turbíny. Na vnitřním povrchu má drážkování pro přenos krouticího momentu z volné turbíny na spojovací hřídel. Na vnějším povrchu jsou nalisovány pouzdra ložisek, vymezovací podložky, ozubené kolo, těsnící kroužky. Všechny tyto části jsou upevněny speciální maticí, která zároveň slouží pro snímání otáček volné turbíny, hřídel je pod diskem zaslepen a je uložen v čtvrtém a pátém ložisku motoru.

Disky turbíny jsou vzájemně vystředěny, spojeny čelními drážkami a staženy dvanácti šrouby. Konstrukce šroubů je stejná jako u rotoru turbíny kompresoru. Shodné je i konstrukční provedení disků.

Lopatky jsou konstrukčně shodné s lopatkami turbíny kompresoru. Jsou upevněny ve stromečkových zámcích a zajištěny rozpěrnými (pojistnými) kroužky. První stupeň rotoru volné turbíny má 64 lopatek a druhý stupeň jich má 51. [10]



Obr. 22 Rotor volné turbíny [10]

1 – zajišťovací podložka; 2 – matice; 3 – disk prvního stupně; 4 – oběžná lopatka prvního stupně; 5 – pojistný kroužek; 6 – oběžná lopatka druhého stupně; 7 – pojistný kroužek; 8 – kolík; 9 – labyrint; 10 – stahovací šroub; 11 – kuličkové ložisko; 12 – zajištění; 13 – matice; 14 – ložiskové pouzdro; 15 – disk druhého stupně; 16 – soubor seřizovacích podložek; 17 – válečkové ložisko; 18 – zajištění; 19 – speciální matice; 20 – spojovací hřídel; 21 – seřizovací kroužek

Těleso čtvrtého a pátého ložiska

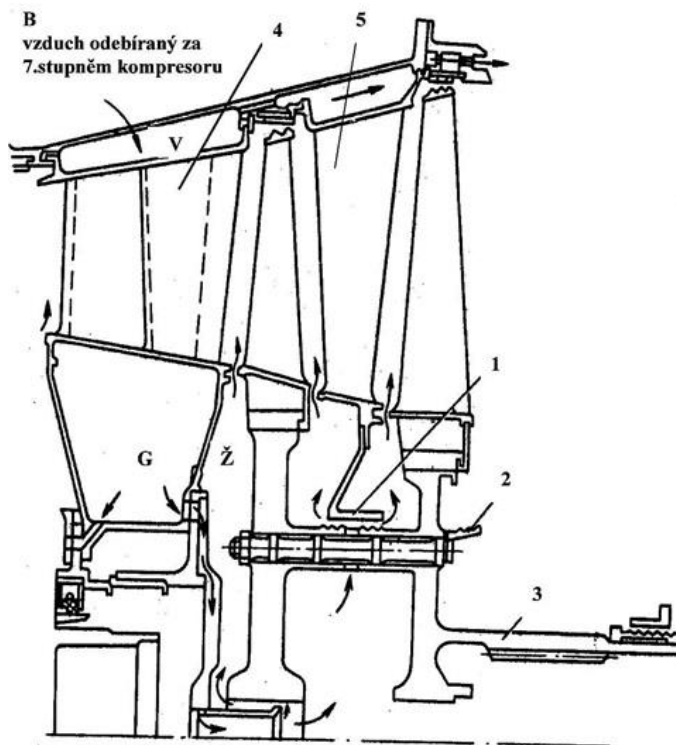
Těleso čtvrtého a pátého ložiska motoru zabezpečuje uložení rotoru volné turbíny ve čtvrtém kuličkovém ložisku a v pátém válečkovém ložisku. Zároveň přenáší radiální a axiální síly rotoru volné turbíny. Je umístěno v difuzoru výstupního ústrojí. [10]

Chlazení volné turbíny

Chlazení volné turbíny slouží pro získání zálohy pevnosti a spolehlivosti volné turbíny. Chlazení volné turbíny se provádí vzduchem odebíraným a přiváděným od sedmého stupně kompresoru.

Vzduch je od sedmého stupně kompresoru přiváděn do prostoru "V", odkud proudí část vzduchu prostorem mezi skříní volné turbíny a vnějšími věnci rozváděcího ústrojí a otvory odchází do proudu plynů za druhým stupněm volné turbíny. Zbytek vzduchu proudí dutými lopatkami rozváděcího ústrojí prvního stupně volné turbíny do prostoru "G". Z tohoto prostoru je rozdělen do dvou proudů. První část vzduchu je průvrty vedena pro chlazení a přetlakování prostoru tělesa třetího ložiska a dále potrubím odváděna do výstupního nátrubku. Druhá část vzduchu z prostoru "G" je vedena otvory a prostorem mezi přepážkami a nátrubkem do prostoru pod disky volné turbíny. Z tohoto prostoru je vzduch veden dvěma směry:

- a) vzduch proudí mezi nátrubkem a diskem prvního stupně volné turbíny do prostoru "Ž", tento prostor ochlazuje a odchází do proudu plynů
- b) vzduch proudí otvorem pod labyrintové těsnění, odkud je rozveden na zadní stranu disku prvního stupně a přední stranu druhého stupně rotoru volné turbíny, které chladí a odchází do proudu plynů [10]



Obr. 23 Schéma chlazení volné turbíny [10]

1 – labyrint VT; 2 – labyrint VT; 3 – hřídel VT; 4 – rozváděcí ústrojí 1. stupně; 5 – rozváděcí ústrojí 2. stupně

Výstupní systém

Výstupní systém zabezpečuje odvedení plynů z motoru do atmosféry, podle umístění na levou nebo pravou stranu vrtulníku. Výstupní systém tvoří rozšiřující se kanál, jenž zabezpečuje odvod plynů do atmosféry bez vytváření tahu. [10]



Obr. 24 Výstupní systém

- **Difuzor výstupního systému**

Difuzor výstupního systému zabezpečuje usměrnění plynů a snižuje rychlost plynů.

- **Výstupní nátrubek**

Výstupní nátrubek zabezpečuje usměrnění proudu plynů na levou nebo pravou stranu vrtulníku.

- **Výstupní nástavec**

Je součástí trupu vrtulníku. [10]

2.6 Základní technické parametry motoru TV3-117

Označení motoru	TV3-117
Smysl otáčení	levý
Druh motoru	turbo-hřídelový s VT
Systém spouštění	vzduchový
Protinámrazový systém	vzducho-tepelný
Hmotnost motoru	285 ± 5,7 kg
Délka motoru celková	2055 mm
Délka motoru po spoj s reduktorem	1736,5 mm
Šířka	650 mm
Výška	728 mm
100% otáček turbokompresoru	19500 min ⁻¹
100% otáček volné turbíny	15000 min ⁻¹
100% otáček VT odpovídá 95,4% otáček na ukazateli otáček nosného rotoru	
Stupeň stlačení kompresoru	9,55
Teplota vzduchu na vstupu	± 60° C
Relativní vlhkost vzduchu	do 100 %
Teplota paliva na vstupu	-50 až +60° C
Rychlost letu	0 až 350 km/h
Výška letu	0 až 5000 m
Spouštění motoru	do výšky 4000 m
Minimální teplota oleje pro spouštění	-40° C
Používaný olej	ASTO 555 (dříve B-3V)
Používané palivo	F-34 (PL-4,PL-6)
Doba spouštění	max. 60 s

[9]

2.7 Systémy motoru TV3-117

2.7.1 Olejový systém

Olejový systém zabezpečuje mazání a chlazení všech ložisek, náhonů a ozubených převodů motoru. Zároveň odsává použitý olej z mazacích prostorů a upravuje ho pro další použití. Dále zabezpečuje odvodušnění všech mazacích míst.

Olejový systém je cirkulační, otevřený s nuceným oběhem oleje. V olejovém systému je použit např. syntetický olej ASTO 555 (dříve B-3V). Má velmi dobré tepelné a chemické vlastnosti (má nízký bod tuhnutí a velkou rychlost oddělení se oleje od vzduchu). Olej je možné použít v rozmezí teplot -40°C až $+200^{\circ}\text{C}$. Je agresivní a při styku s konstrukcí trupu způsobuje korozi. Takto agresivně působí i na pokožku. [11]

Obsah celého systému	17 l
Plnění nádrže	8 až 11 l
Obsah v potrubí	2,7 l
Obsah chladiče	2,2 l
Obsah v motoru	1,5 l

Tlak oleje na režimu:

volnoběh min.	0,2 MPa
vyšší než volnoběh	$0,35 \pm 0,05$ MPa
při přehřívání motoru v režimu volnoběh při teplotě nižší než $+70^{\circ}\text{C}$	max. 0,48 MPa

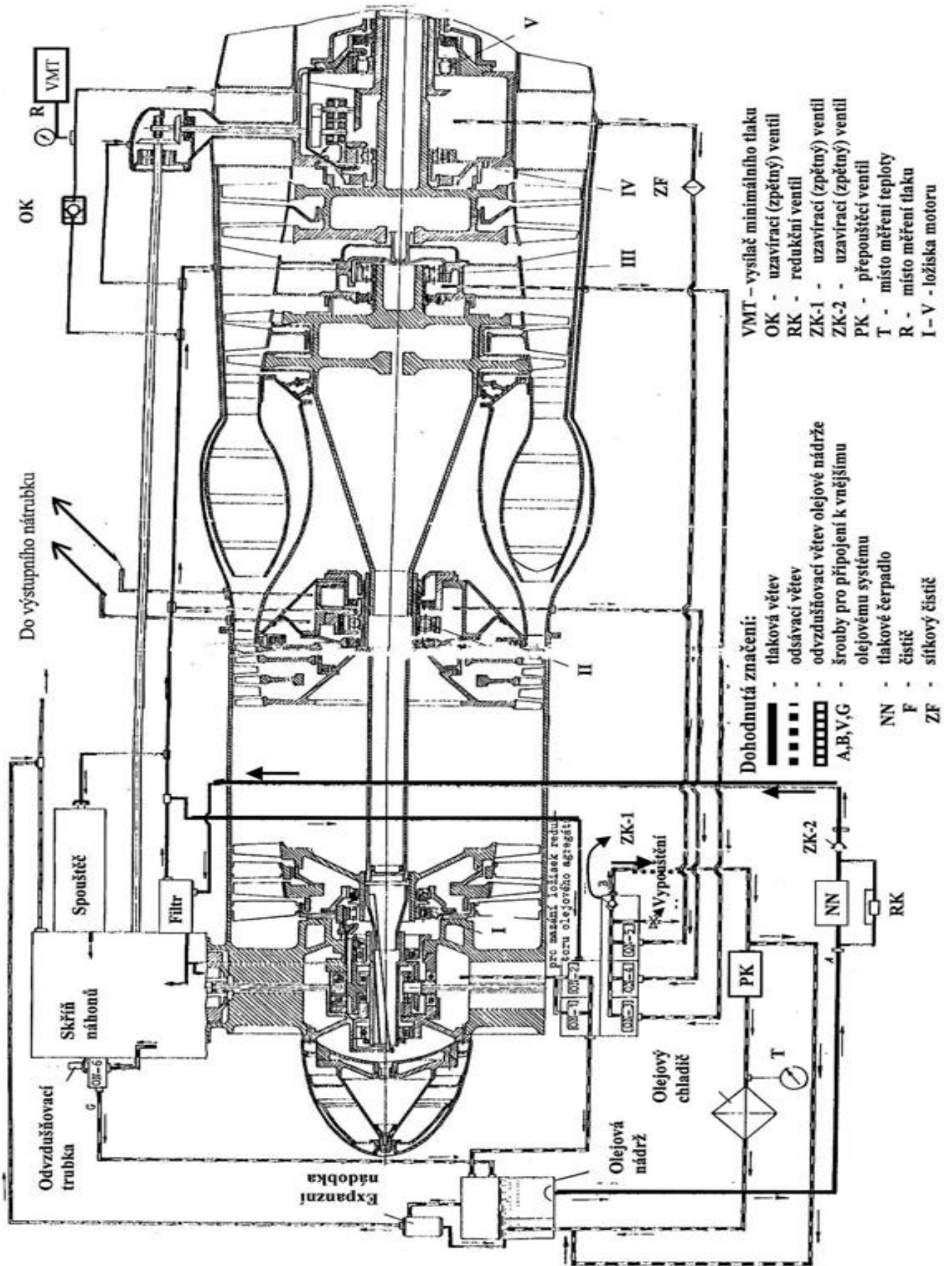
Kolísání tlaku oleje v rozmezí přípustné hodnoty na všech ustálených režimech

$\pm 0,025$ MPa

Teploty oleje na výstupu z motoru:

maximální	$+150^{\circ}\text{C}$
minimálně při přechodu na vyšší režim než volnoběh.	30°C
	doporučená $+80^{\circ}\text{C}$ až $+140^{\circ}\text{C}$
minimální pro trvalou činnost v druhém cestovním režimu a vyšších.	$+70^{\circ}\text{C}$

Maximální povolená spotřeba oleje $0,3 \text{ l h}^{-1}$ [11]



Obr. 25 Schéma olejovalného systému

Olej z nádrže postupuje potrubím k tlačnému olejovému čerpadlu v olejovém agregátu. Od čerpadla je olej veden k olejovému čističi. Tlak v systému je udržován redukčním ventilem. Z čističe je olej kanálky v tělese skříně náhonů veden pro mazání skříně náhonů, centrálního náhonu a prvního ložiska motoru. Potrubím z čističe je olej veden k:

- olejovému agregátu
- vzduchovému spouštěči
- druhému ložisku motoru
- pomocnému reduktoru náhonu regulátoru otáček volné turbíny
- čtvrtému a pátému ložisku motoru (přes uzavírací ventil)
- třetímu ložisku motoru
- ukazateli tlaku

Odsávání oleje z prostoru prvního ložiska motoru a centrálního náhonu je zajištěno odsávacími čerpadly v horní části olejového agregátu. Olej je veden přímo do nádrže. Odsávací olejová čerpadla ve střední části olejového agregátu odsávají olej z prostoru II.; III.; IV. a V. ložiska motoru. Olej z pomocného reduktoru stéká do prostoru IV. a V. ložiska. Odsátý olej je z výtlaku těchto čerpadel veden přes jednosměrný ventil do olejové nádrže nebo do vzducho-olejového chladiče (podle teploty odsávaného oleje).

Olej ze skříně náhonů je odsáván samostatným odsávacím olejovým čerpadlem přímo do nádrže. Použitý olej ze spouštěče SV-78 je veden do skříně náhonů a odtud odčerpáván do olejové nádrže odsávacím čerpadlem ze skříně náhonů. Vysílač tlaku oleje je připevněn k potrubí tlakové části za uzavíracím ventilem. Vysílač teploty oleje je v potrubí odvodu oleje do chladiče. [11]

Odvzdušnění olejového systému

Prostor centrálního náhonu a prvního ložiska motoru je spojen se skříní náhonů a odvzdušněn přes nátrubek na odsávacím čerpadle. Prostor ložisek II., III., IV. a V. se odvzdušňuje přes odsávací olejová čerpadla, která odsávají olej spolu se vzduchem do olejové nádrže. Nádrž je odvzdušněna přes expanzní nádobku do výstupního difuzoru. [11]

2.7.2 Palivový systém

Palivový systém zabezpečuje dodávku a regulaci dodávky paliva do spalovací komory na všech režimech práce motoru za všech letových a atmosférických podmínek. Ovládá mechanizaci kompresoru motoru a zabezpečuje spouštění a vypnutí motoru. Palivový systém je uzavřený a používá palivo PL F-34 (u Mi-35 a Mi-171 palivo JET A1). Při teplotách 0°C a nižších se do paliva přidává přísada proti tvoření ledových krupiček v palivu podle uživatelské instrukce.

Nízkotlaký palivový systém

Palivo z drakového palivového systému postupuje na vstup do čerpadla DCN-70, které zvyšuje tlak paliva na potřebnou hodnotu a dodává ho přes jemný palivový čistič na vstup čerpadla regulátoru NR-3V. Zde se tlak paliva zvyšuje a palivo je odváděno do prvního a druhého kolektoru palivových trysek. [11]

Technické údaje

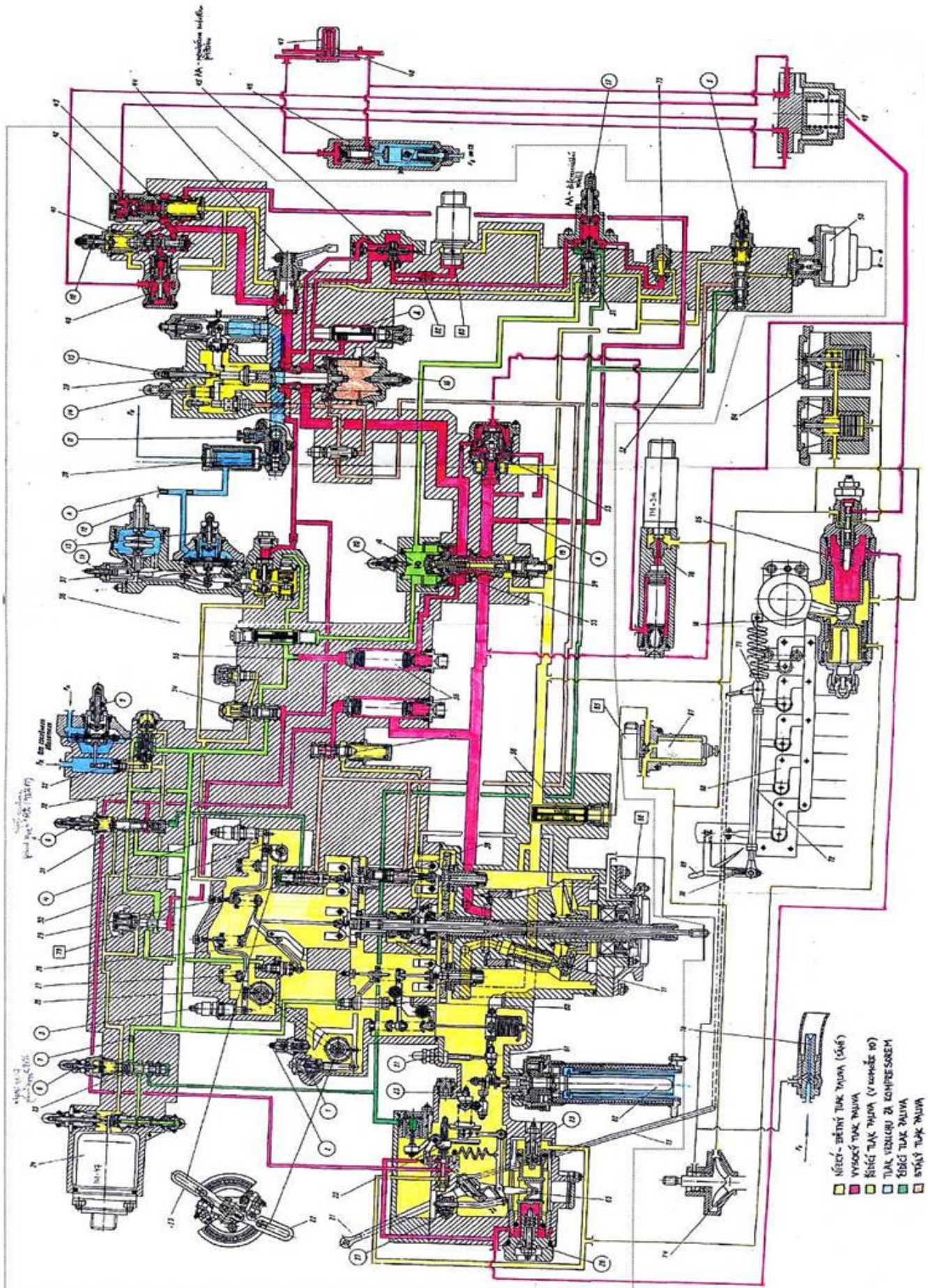
- Teplota paliva od -50°C do +60°C
- Teplota okolního vzduchu od -60°C do +60°C
- Tlak paliva na vstupu NR-3V:
 - při spouštění 0,04 až 0,15 MPa
 - při provozních režimech 0,09 až 0,38 MPa
- Tlak paliva v I. Okruhu palivových dýz (trysek) max. 6 MPa
- Únik paliva do drenážního systému 25cm³ min⁻¹ [11]

Základní (vysokotlaký) palivový systém

Vysokotlaký systém je určen pro dodávku a regulaci paliva do spalovací komory, k ovládní mechanizace kompresoru a vypnutí vzduchového spouštěče SV-78.

U vrtulníku není ukazatel otáček volné turbíny, a proto se tyto kontrolují v závislosti na otáčkách nosného rotoru. Z tohoto důvodu se regulátor otáček volné turbíny nazývá též regulátorem otáček nosného rotoru. [11]

- Teplota paliva -50°C až +60°C
- Tlak na vstupu při spouštění 0,04 až 0,12 MPa
- Maximální povolené otáčky turbokompresoru 103%
- Maximální povolené otáčky regulátoru nosného rotoru 120% (118±2%)
- Vyslání signálu pro odpojení SV-78 při nTK = 60 až 65%
- Odpojení synchronizátoru výkonu při otáčkách nVT = 112 ± 2%
- Ovládní NR-3V: mechanické POM
 hydraulické IM-3A
- Začátek dodávky paliva do I. okruhu NTK = 15 až 20%
- Začátek dodávky paliva do II. okruhu
 - při tlaku paliva v I. okruhu 3,2 ± 0,15 MPa
 - Hmotnost agregátu max. 27 kg [11]



Obr. 26 Principiální schéma palivového systému motoru [11]

2.7.3 Pomocné systémy

Systém odběru vzduchu

Zabraňuje vzniku námrazy na vstupním ústrojí motoru, zabezpečuje stabilní činnost motoru při jeho přechodových režimech a spolehlivě těsní ložiska motoru. Rovněž dodává horký vzduch pro potřebu jiných systémů vrtulníku.

Odmrazovací systém motoru

Zabraňuje vzniku námrazy na vstupním ústrojí motoru tehdy, když jsou za provozu tomuto vytvoření vhodné meteorologické podmínky. V odmrzovacím systému motoru je využíván horký vzduch odebíraný ze spalovací komory. Odmrazovací systém může být zapnutý buď automaticky, nebo ručně.

Ovládací systém kompresoru

Je určen k natáčení lopatek vstupního rozváděcího věnce a rozváděcích věnců prvních čtyř stupňů kompresoru. Zároveň ovládá odpouštěcí ventil za sedmým stupněm kompresoru.

Systém přetlakování ložisek motoru

Zabezpečuje spolehlivou činnost jednotlivých ložisek motoru. Zabraňuje úniku mazacího oleje z prostoru ložisek motoru do vzduchového a plynového traktu. Přetlakování ložisek bylo vysvětleno v první části skriptu u jednotlivých těles ložisek.

Spouštěcí systém motoru

Systém je určen pro roztočení rotoru turbokompresoru při spouštění a k zapálení palivo - vzduchové směsi ve spalovací komoře pomocí jednotky AI-9V. [11]

3 Stávající stav

V motorovém přepravním boxu dorazil od zákazníka motor se seznamem zjištěných závad. Zákazník sepsal, že motor dosahuje vyšších teploty na vyšších režimech, vytékající olej okolo drenážního ventilu, vysoké vibrace v rovině IV. opory. Jedná se o motor TV3-117 a podle postupu diagnostiky musíme poslat motor do letecké opravy, kde se motor podrobí nálezové prohlídce, která má za úkol prověřit všechny motorové systémy a zjistit rozsahy poškození částí motoru či jejich míru opotřebení. A z těchto dat budeme navrhovat opravná opatření.

Vývojový diagram postupu zkoušky motoru

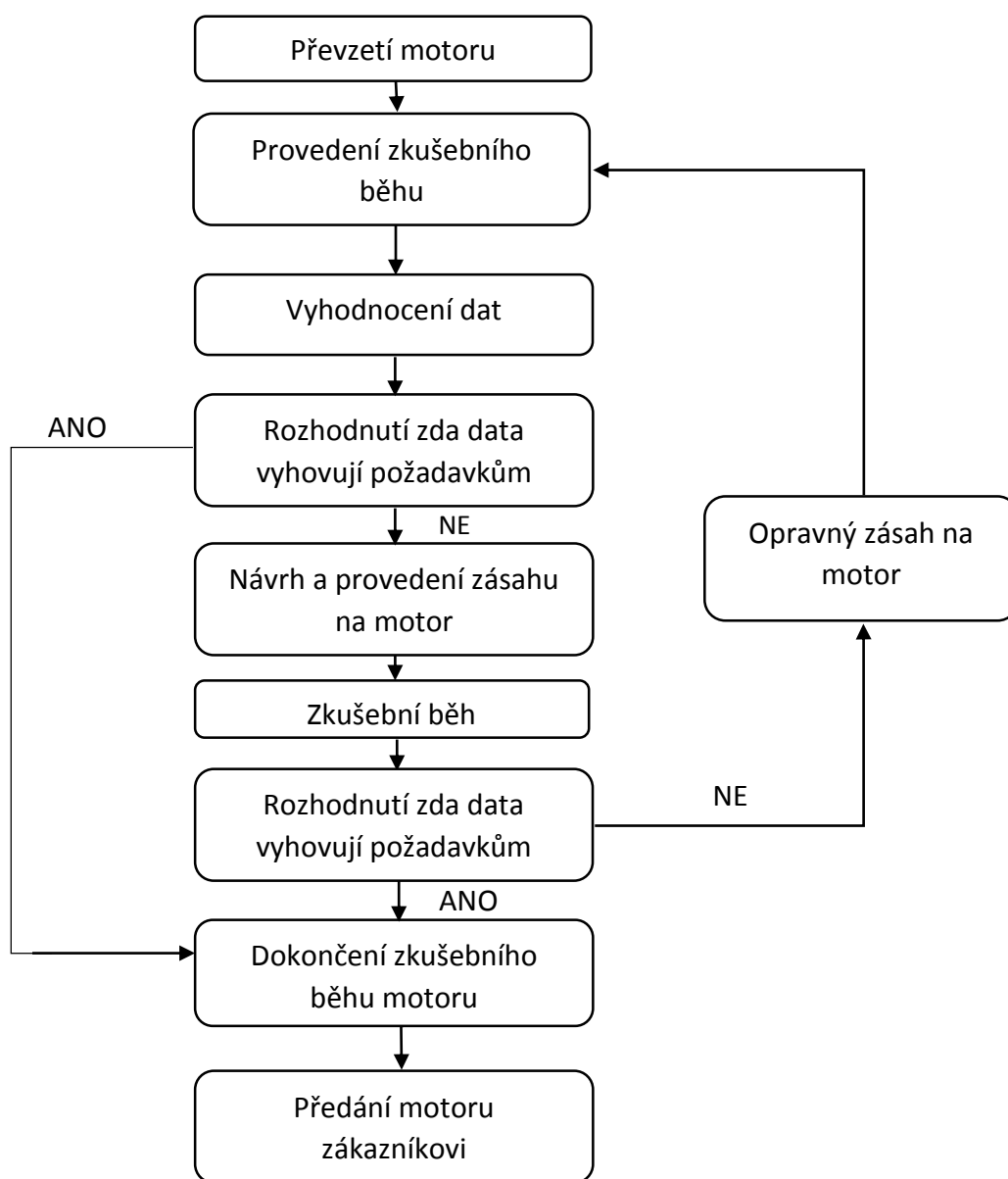


Diagram č. 1

Podle sofistikované procedury diagnostiky motoru jsme zmapovali všechny veličiny motoru a z těchto dat právě budeme vycházet při navrhování vhodných zásahů na motor.

Z grafu níže je patrné, že nejvíce nás zajímají oblasti stlačení vzduchu, teploty a otáček.

Motor byl vrácen především z důvodu vysoké teploty t_3 výstupních plynů.

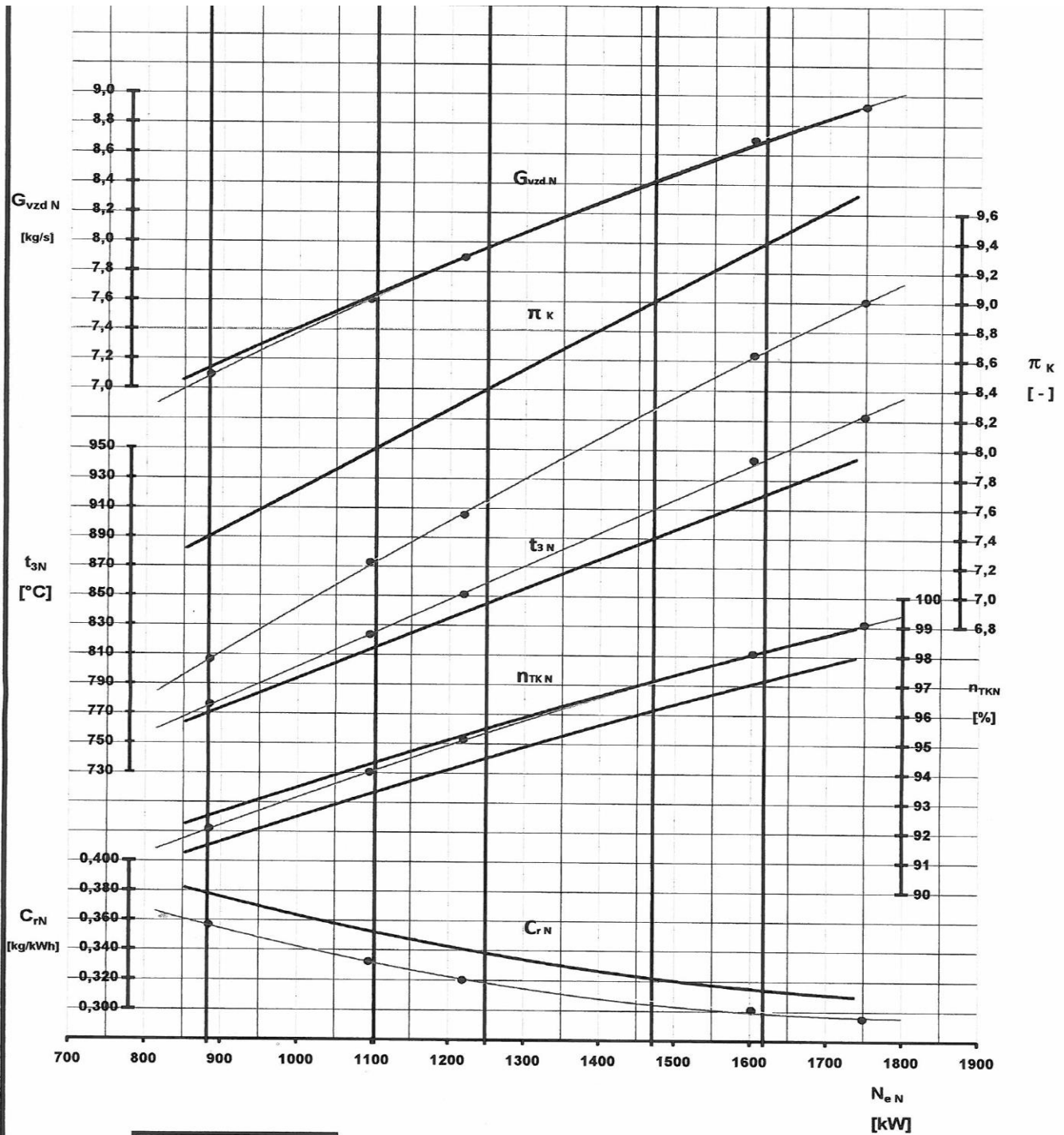
- nominál 859°C (povoleno dle platné technologie 845°C)
- mimořádný 944°C (povoleno dle platné technologie 920°C)
- vzlet 910°C (povoleno dle platné technologie 890°C)
- 1. cestovní 825°C (povoleno dle platné technologie 815°C)
- 2. cestovní 775°C (povoleno dle platné technologie 770°C)

Mimo jiné v průběhu oprav jsem se setkal s problémy nízkého tlaku odsávání na 4. a 5. opoře a zaznamenaných vibracích na 1. a 4. opoře ve vyšších režimech.



Obr. 27 Motor TV3-117 v přepravním boxu [12]

Data, které jsme změřili při vstupní prohlídce se zaznamenávají do grafu, který nazýváme graf výkonnostních charakteristik. Z grafu je patrné, že teplotní složka grafu je v oblasti nepovolené meze, což znamená, že teplota je vyšší než povolená hranice.

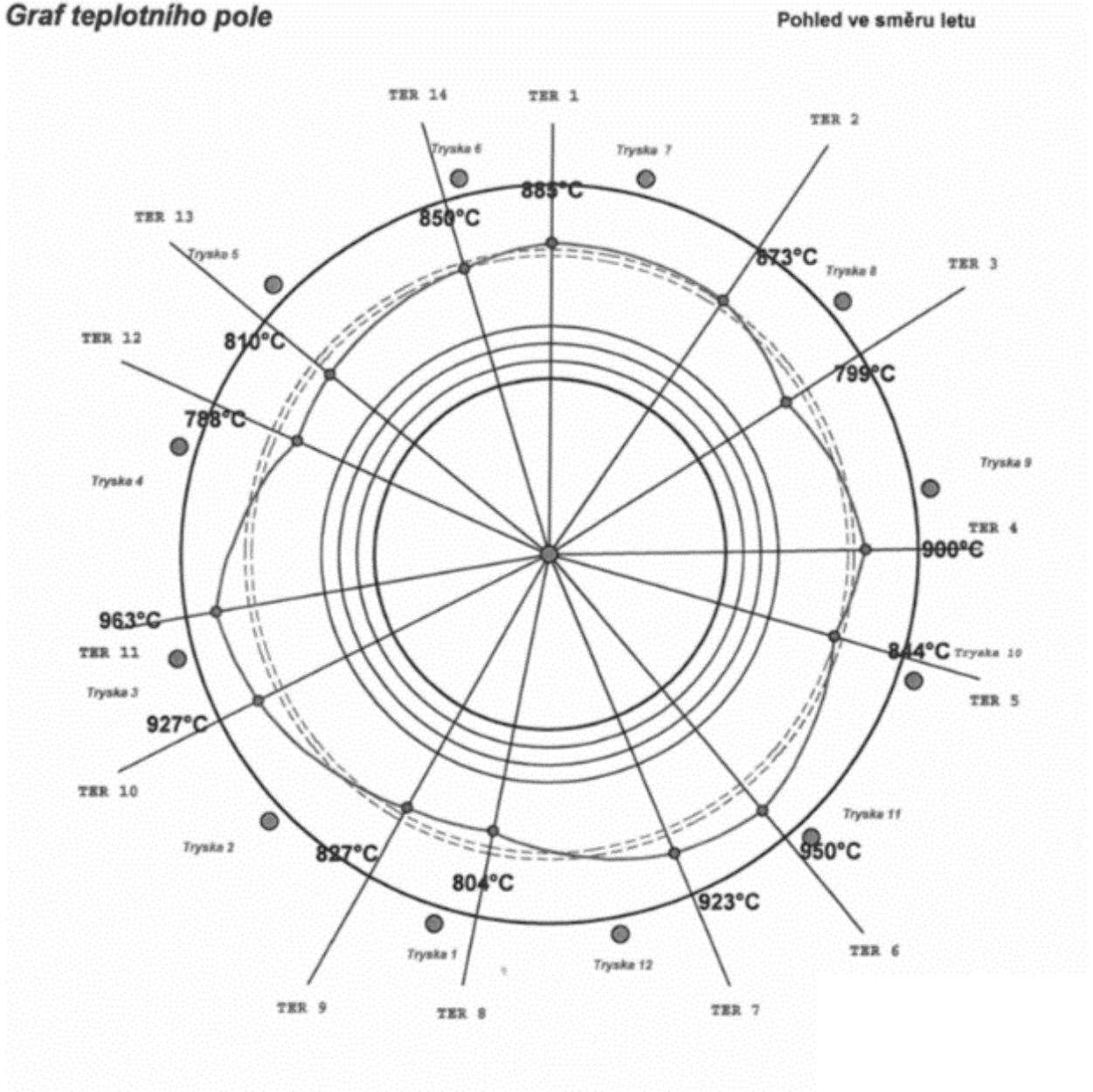


Sdružený běh						
2.část	N_{eN}	n_{TKN}	t_{3N}	C_{rN}	$G_{vzd N}$	π_K
II.cestovní	883	92,1	775	0,357	7,08	6,56
I.cestovní	1103	94,1	825	0,331	7,63	7,23
Nominál	1250	95,4	859	0,318	7,96	7,66
Vzlet	1471	97,1	910	0,304	8,42	8,27
Mimořádný	1618	98,2	944	0,298	8,70	8,67
Úchylna t_3 -2% N_{eN}	ne					

Obr. 28 Naměřená data výkonnostní charakteristiky motoru TV3-117, kde je vidět enormní nárůst teploty.

Součástí testů je v případě výskytu vysokých teplot spalin t_3 i měření teploty na jednotlivých termočláncích. Z těchto jednotlivých měření dostaneme mapu teplotních polí daných sektorů. Výsledek měření teplotních polí je zaznamenán do teplotního grafu.

Graf teplotního pole



Obr. 29 Graf teplotního pole

Vyhodnocená data teplotního grafu se opět zanáší do tabulek.

Teplota sání: 2 °C

Režim: NOM

nTK: 93,1 %

nTKN: 95,3 %

Pe: 1207 kW

PeN 1270 kW

Termočl. číslo	t_3 (°C)	t_{3N} (°C)
1	842	885
2	830	873
3	760	799
4	856	900
5	803	844
6	904	950
7	878	923
8	764	804
9	786	827
10	882	927
11	916	963
12	749	788
13	770	810
14	808	850
Celková hodnota	11548	12141
Max. teplota	916	963
Min. teplota	749	788
Max. rozdíl teplot	167	175
Průměr	825	867
Hranice t_{3N}		849°C
Rozdíl od hranice T_3	18°C	

Koeficient Kt
-9,5

Tabulka č. 4; vyhodnocená data z měření termočlánků

4 Popis zkušebního zařízení

4.1 Příprava motoru pro zkušební běh

Po přijetí motoru na zkušebnu se motor ustaví na zkušební zařízení – stand. Dále následuje připojení motoru k ovládání:

- páka ovládání motoru
- páka ovládání otáček volné turbíny
- páka stop kohoutu

Jakmile je motor ustaven na standu je nutné naplnit olejovou nádrž a reduktor vzduchového spouštěče olejem. Další krok je napojení motoru k palivovému systému zkušebního zařízení. Následně je potřeba odvodušnit palivový systém motoru.

Dále je potřeba napojit řetězce měřených veličin:

- Teplot
 - Vzduchu na vstupu do motoru
 - Teplota výstupních plynů
 - Teplota oleje na vstupu a výstupu na motoru
 - Teplota paliva na vstupu do motoru
- Tlaků
 - Tlak oleje na vstupu do motoru
 - Tlak paliva na vstupu do motoru
 - Tlaky v oporách motoru
- Průtoků
 - Průtoky paliva
 - Průtoky oleje
 - Vzduchu motorem
- Vibrací
 - Vibrace na první opoře
 - Vibrace na volné turbíně a pružné náhony

Zkoušky motorů se provádějí na zařízeních, která umožní měřit charakteristické veličiny motoru. Výkon motoru se měří výkonovými brzdami. Otáčky motoru se měří elektrickými otáčkometry. Teploty nasávaného vstupního vzduchu a výstupního oleje se měří elektrickými odporovými teploměry. Teploty výstupních plynů termočlánky, které jsou umístěny před turbínou kompresoru. Tlak vzduchu na vstupu do motoru se měří pomocí měřících sond, měří se také tlak oleje a chladicí kapaliny. Spotřebu paliva měříme průtokoměry. [8]

K měření výkonu motoru se používá aerodynamická brzda, kterou tvoří motor M 701. Toto zařízení působí proti neznámému točivému momentu motoru brzdný moment, který známe nebo ho umíme měřit.

Zkušební zařízení využívá motor M 701, který zatěžuje hřídel motoru. Na hřídeli spojující motor TV3-117 a brzdný motor M 701 je umístěno měřící zařízení kroučícího momentu – torque meter.

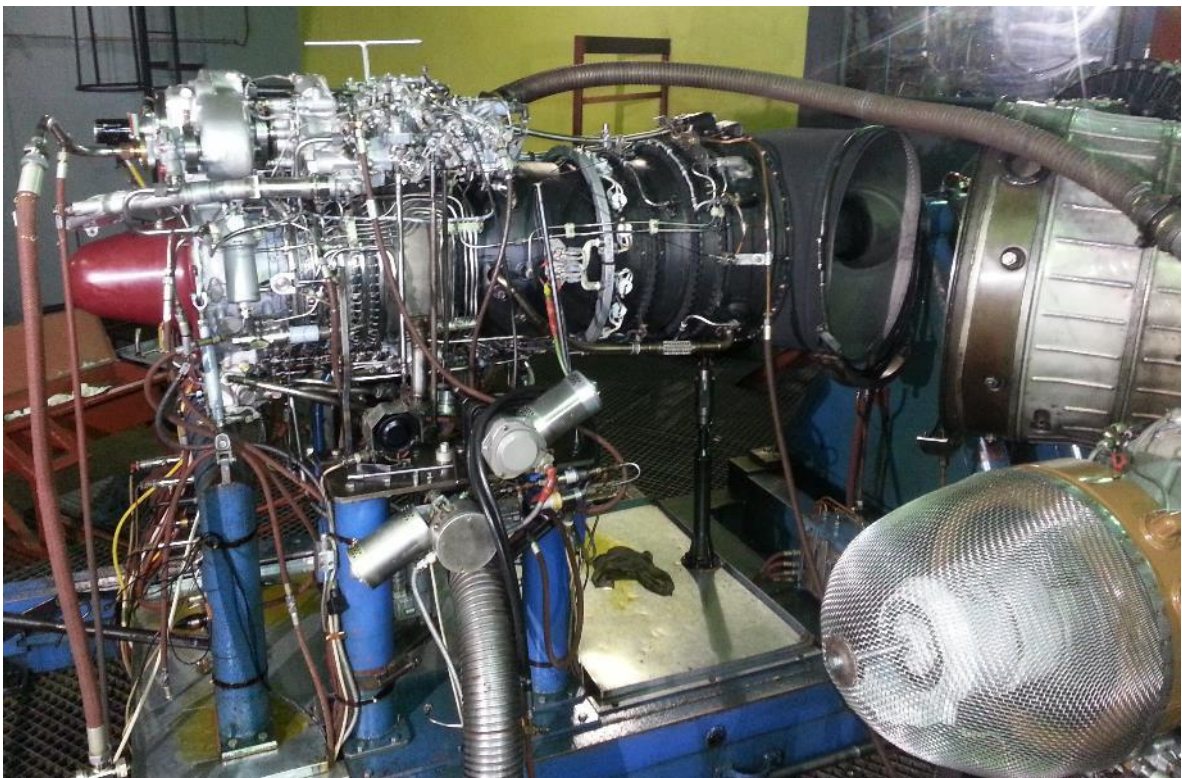
S připraveným motorem zahájíme zkušební běh dle stanoveného programu.



Obr. 30 Napojení motoru na vzduchovou brzdu M 701 s měřičem kroučícího momentu



Obr. 31 Zkušební stojan č. 6 s ustaveným motorem a odpojeným vstupním ústrojím



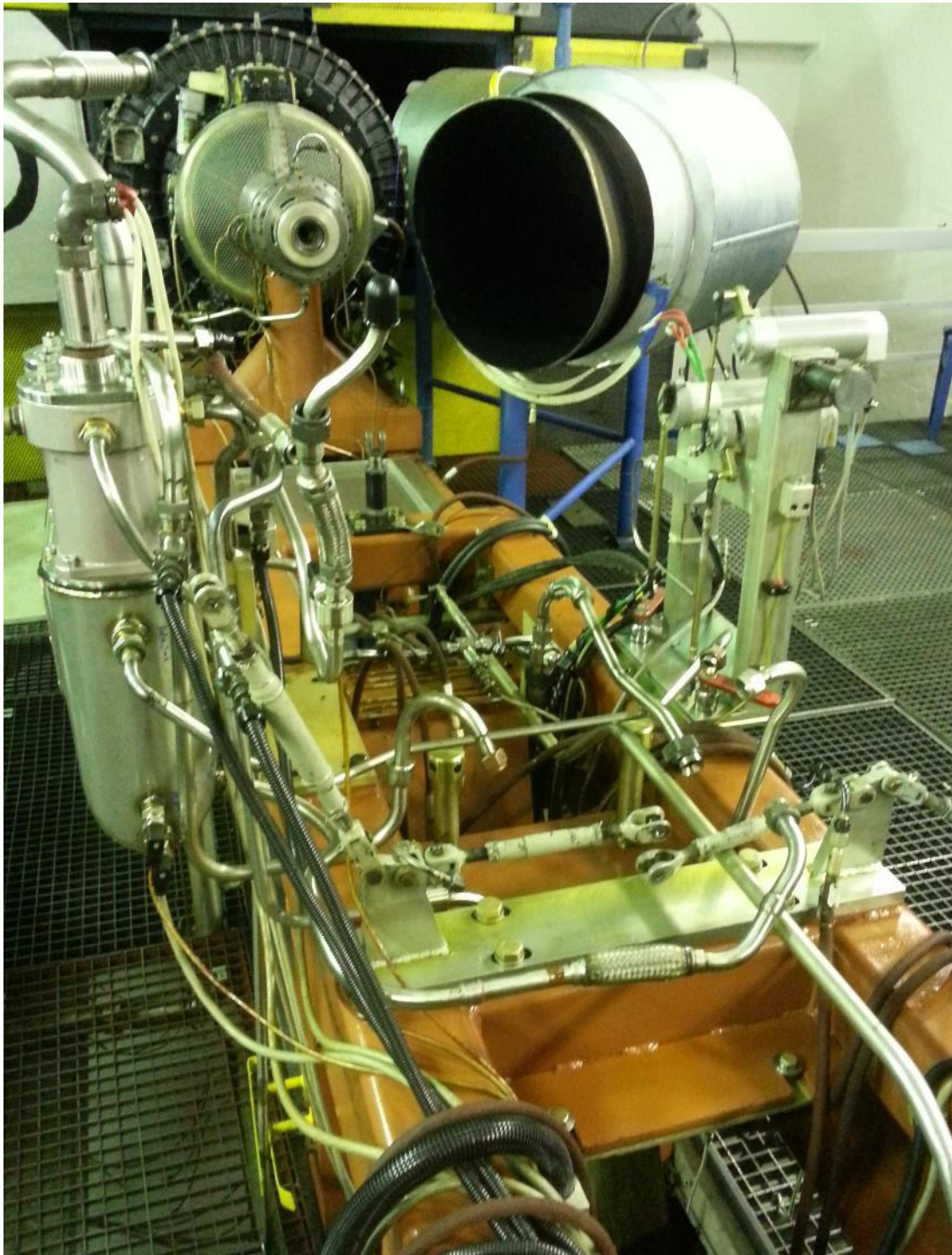
Obr. 32 Pohled na ovládání motoru (POM, VT, stop kohout)



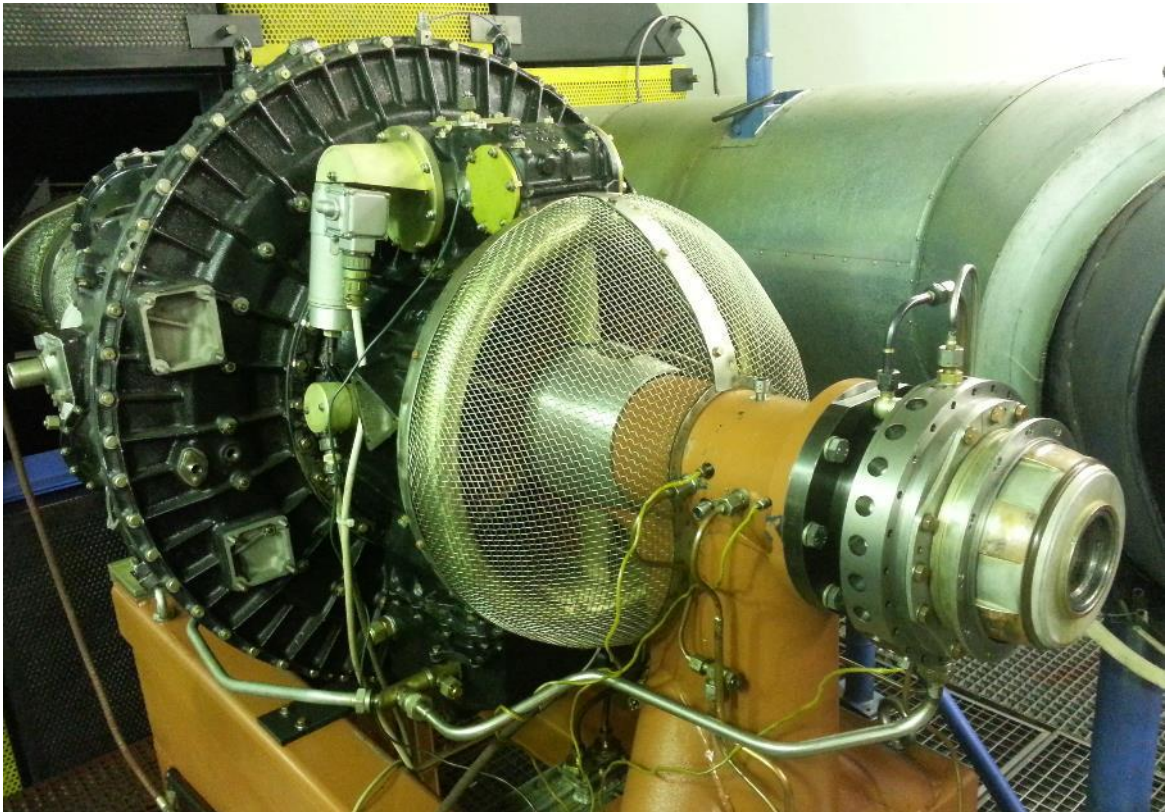
Obr. 33 Velín zkušebního boxu č. 6



Obr. 34 Zkušební stand č. 2 bez motoru



Obr. 35 Nové provedení zkušebního stojanu č. 2



Obr. 36 Vzduchová brzda se stavitelným vstupním ústrojím (nastavování zátěže motoru - VT)



Obr. 37 Velín zkušební boxu č. 2

5 Návrh řešení

5.1 Úvod do navrhování zásahů

V této kapitole se věnuji popisu technologických postupů, které jsme navrhli a které vedli k správnému chodu motoru.

Technologické postupy se mohou v případě opravy motoru opakovat či lehce modifikovat z důvodů časných vrácení motoru zpět do dílen z tohoto důvodu v práci budu uvádět zásahy na motor, které vrátili požadované vlastnosti motoru.



Obr. 38 Palivový regulátor motoruTV3-117 [12]

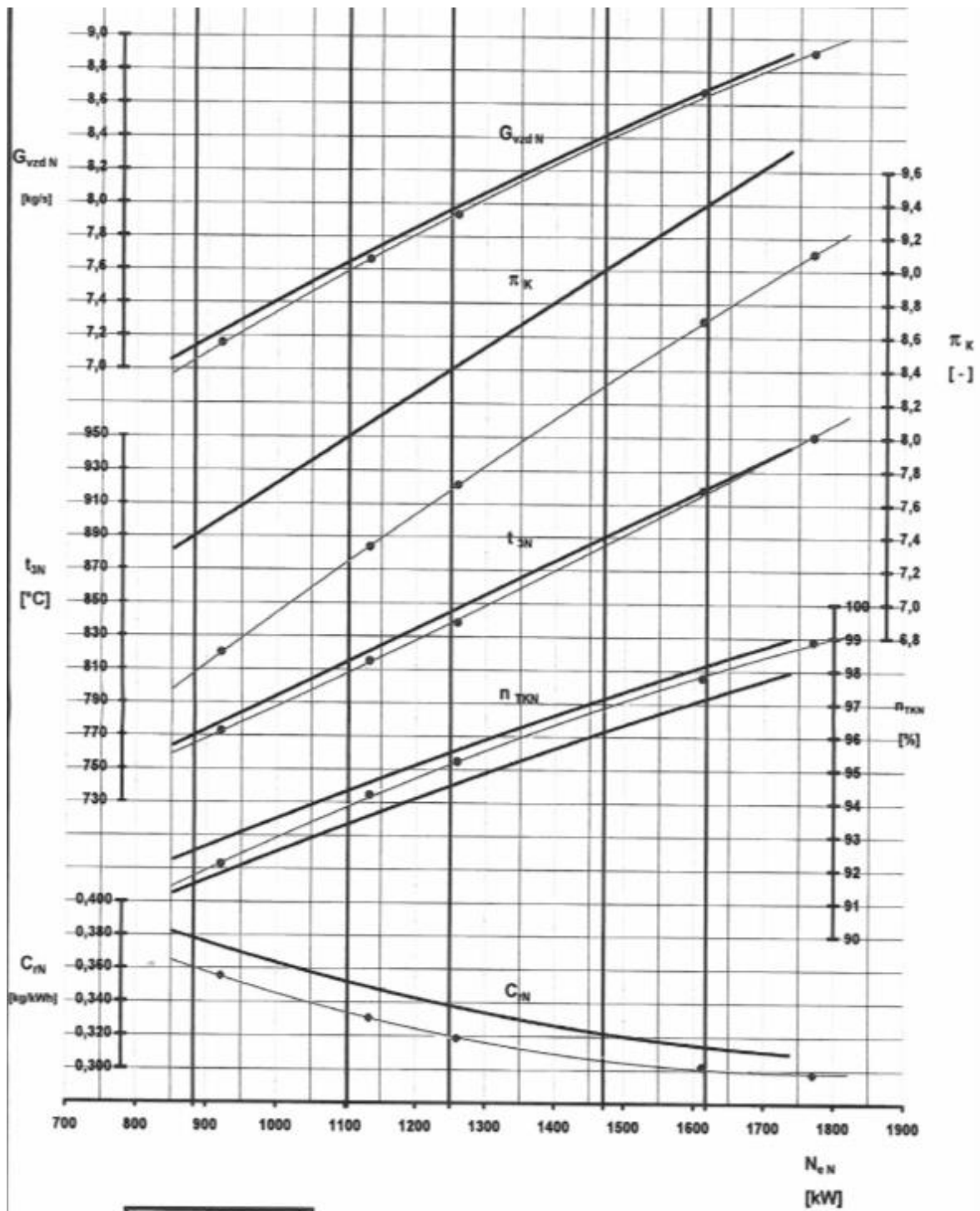
5.2 Zásahy na motor TV3-117

Při navrhování zásahu na motor vycházíme z nálezové prohlídky motoru, kterou jsme udělali při prvním přijetí motoru. Zjistili jsme, kde se s největší pravděpodobností problém vyskytuje, a snažíme se vhodnými kombinacemi řešení problému s motorem vyřešit.

Při zkoušce motoru jsme zjistili vysoké teploty t_3 tudíž je potřeba provést tyto kroky:

- Částečná demontáž motoru za účelem vyjmutí plamence a palivového kolektoru, z důvodu výměny plamence.
- Na palivovém kolektoru bude provedeno přezkoušení.
- Z motoru demontovat olejový agregát a odeslat na opravu (poškozené šroubení na tělese agregátu) na Pr6, práce provádět dle pokynů technologa Pr6.
- Demontovat 1. stupeň statoru turbíny za účelem zmenšení průtočné plochy (z původních cca. 88cm² na cca. 86cm²)
- Na motor ustavit náhradní plamenec číslo výkresu XY* z motoru v. č. XY* (282,25 hodin), původní plamenec bude ustaven na motor v. č. XY* a provést jeho utěsnění vůči statoru 1. stupně turbíny turbokompresoru na spodní hranici předepsané tolerance. V případě velké vzájemné vůle provést utěsnění nástřikem těsnící hmoty „metca“ nebo rozválcováním dle platné technologie.
- Demontované díly motoru umýt pouze benzínem.
- Demontované potrubí motoru umýt a propláchnout benzínem, důkladně profouknout, zaslepit a odeslat na montáž motoru.
- Provést vizuální kontrolu ložiska 3. opory v. č. XY* (na pracovišti montáže).
- Výrobní kontrola provede vizuální kontrolu demontovaných dílů motoru
- Ze statoru 3. stupně turbíny demontovat těleso těsnění 3. opory v. č. XY*, a provést tlakovou zkoušku grafitového těsnění v tělese.
- Demontované palivové agregáty odeslat na Pr6, kde budou provedeny následující práce:
 - vizuální kontrola stavu včetně začistění dosedacích ploch
 - konzervace (zaplavení palivových agregátů)Drenážní ventil.

* interní informace AČR a LOM Praha



2.Běh						
1.část	$N_e N$	$n_{TK N}$	$t_3 N$	$C_r N$	$G_{vzd N}$	π_K
II.cestovní	883	91,8	765	0,360	7,05	6,58
I.cestovní	1103	93,9	808	0,334	7,59	7,25
Nominál	1250	95,2	838	0,320	7,92	7,68
Vzlet	1471	96,9	885	0,306	8,38	8,31
Mimořádný	1618	97,9	917	0,300	8,66	8,70
Úchylka t_3 -2% N_{eN}	ne					

Obr. 39 Na této výkonové charakteristice vidíme výrazné snížení teploty t_3

Odstranění vibrací na oporách a odstranění nízkého tlaku

- Částečná demontáž motoru za účelem kontroly a proměření 3. opory.
- Sestavu volné turbíny nedemontovat, důkladně zaslepit a ponechat na montáži motorů. Výrobní kontrola provede pouze vizuální kontrolu před ustavením na motor.
- Demontovat vzduchový spouštěč SV-78 a odeslat na Pr6 na kontrolu těsnosti.
- Na 3. opoře motoru zkontrolovat radiální házení vnitřního kroužku válečkového ložiska a sousost statoru 3. stupně VT.
- Na tělese ložiska 3. opory provést kontrolu sousosti vnějšího centračního povrchu a povrchu pro ložisko.
- Na 3. stupni statoru rozváděcího ústrojí VT provést kontrolu na trhliny (na žebrech).
- Výrobní kontrola provede proměření pružných kroužků 3. opory.
- Demontované díly motoru umýt pouze benzínem.
- Demontované potrubí motoru umýt a propláchnout benzínem, důkladně profouknout, zaslepit a odeslat na montáž motoru.
- Výměna ložiska 3. opory za ložisko nové
- Výrobní kontrola provede vizuální kontrolu demontovaných dílů motoru.
- Demontáž motoru do skupin za účelem odstranění vibrací a nízkého tlaku P22.
- Sestavu volné turbíny demontovat do skupin.
- Demontované díly motoru umýt benzínem.
- Demontované palivové agregáty odeslat na Pr. 6 (zaplavení agregátů a začištění dosedacích ploch).
- Provést kontrolu těsnosti grafitového těsnění 4. opory a 5. opory (kontrolu provést ve smontovaném stavu). Na sestavě grafitového těsnění ověřit lehkost pohybu vlastních grafitů.
- Na motor namontovat jiné těleso 4. a 5. opory v. č. XY*
- SKVL provede kompletní proměření transmisních ložisek: XY*, XY* a XY*



Obr. 40 Kontrolně technologické nálezy [12]

* interní informace AČR a LOM Praha

- Dále se provedou tyto kontrolní kroky:
 - vizuální kontrolu demontovaných dílů
 - provést proměření následujících dílů z důvodu kontroly uložení transmisních ložisek:
 - pružné kroužky 1. opory v. č.. XY* a XY*
 - pružné kroužky 3. opory v. č.. XY* a XY*
 - pouzdro ložiska 1. opory v. č.. XY*
 - těleso ložiska 1. opory v. č.. XY*
 - těleso ložiska 2. opory v. č.. XY*
 - těleso ložiska 3. opory v. č.. XY*
 - pouzdro ložiska 3. opory v. č.. XY*
 - kontrolní házení spojovací hřídele mezi CP a SPA v. č. XY*
 - kontrolní házení spojovací hřídele mezi CP a olejový agregát v. č. XY*
 - kontrolní házení spojovací hřídele mezi CP a rotorem kompresoru v. č. XY*
 - vyskladnění dílů 100% výměny na technologické postupy XY*, XY*
- Demontované potrubí motoru umýt a propláchnout benzínem, důkladně profouknout, zaslepit a odeslat na pracoviště montáže motorů.
- Provést kontrolní převážení rotoru kompresoru.
- Provést kontrolní převážení rotoru turbíny TK.
- Kontrola značení sousostí drážkování ve spojení rotoru kompresoru a turbíny a správné sesouhlasení značek při montáži.
- Na motoru provést kontrolní sousost dle XY*
- Výrobní kontrola provede:
 - vizuální kontrolu demontovaných dílů
 - zkontrolovat uložení ložisek 1., 2. a 3. opory včetně pružných kroužků a pouzder ložisek.

* interní informace AČR a LOM Praha

6 Požadované cíle

Abychom mohli daný motor vrátit zpět zadavateli zakázky, musíme zajistit jeho bezpečný a spolehlivý chod a proto vytváříme opravné zásahy na motor tak, aby motor měl původní vlastnosti deklarované výrobcem. Správné zásahy vrací vlastnosti motoru tak, aby vyhovovali platným technologiím a požadavkům provozovatele.

Zásahy se provádí v letecké opravně a pak se motor pošle do oddělení zvaného motorová zkušebna, kde motor posadí na „stand“ a simulují tam letové podmínky. Když ani jedno pracoviště nezjistí závady či jakákoliv odchýlení od standardů je motor připraven na vrácení majiteli/provozovateli.

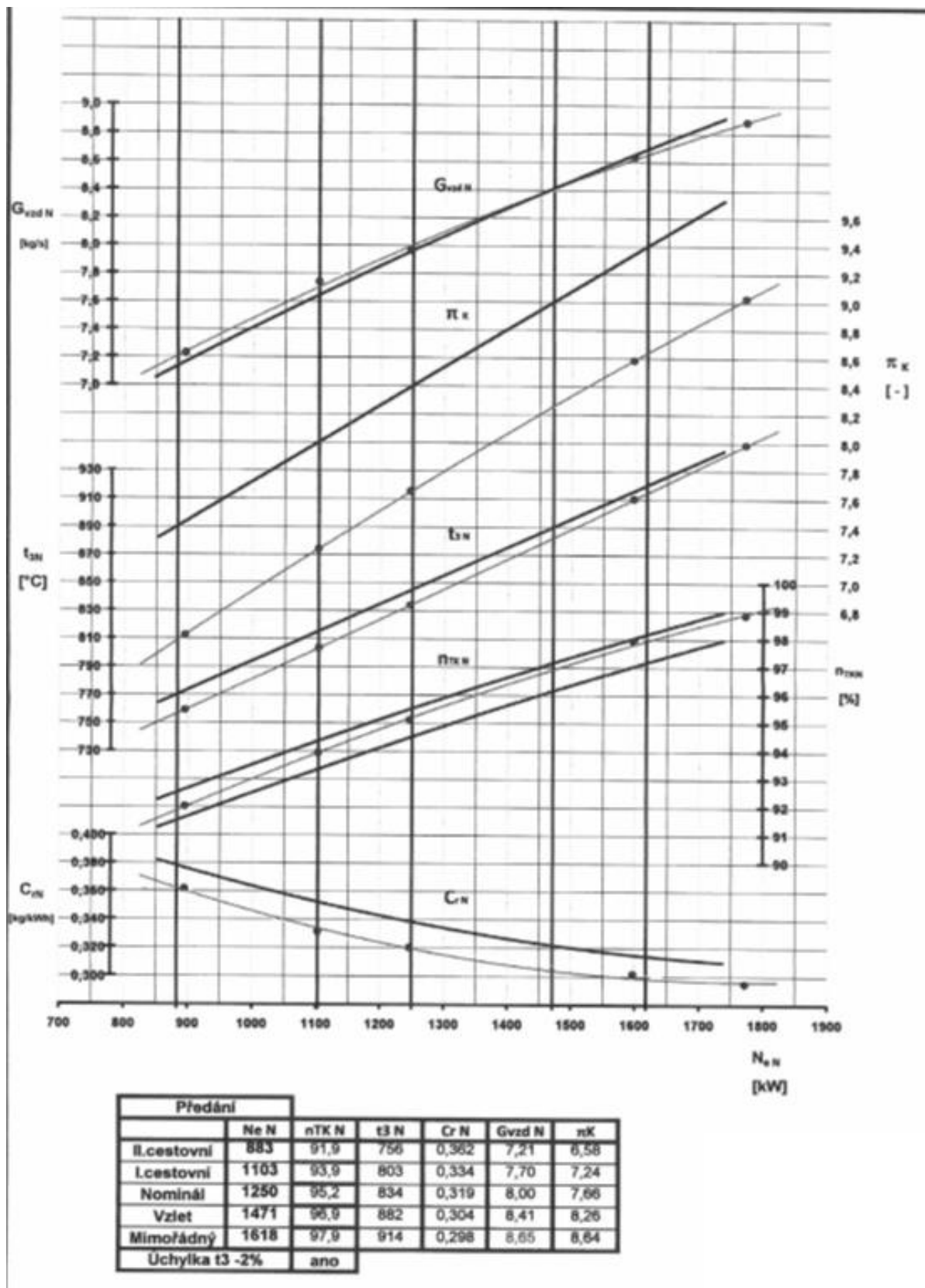
V našem případě byl největší důraz kladen na snížení teploty výfukových spalin na kompresorové turbíně.

Povolené teploty t_3 na motoru TV3-117 v jeho režimech dle příručky:

- nominál 845°C
- mimořádný 920°C
- vzlet 890°C
- 1. cestovní 815°C
- 2. cestovní 770°C

Mezi naše cíle je taktéž zamezení vibracím na oporách a zajištění správné funkce všech motorových systémů.

Požadovaná výsledná charakteristika turbo-hřídelového motoru TV3-117.



Obr. 41 Výsledné výkonnostní charakteristiky motoru TV3-117

7 Závěr

Na závěr této práce bych chtěl poukázat na to, že oprava motoru je zdlouhavá a sofistikovaná práce, nejedná se o práci v řádu hodin, jak by se zprvu mohlo zdát. Na vlastní kůži jsem si prošel a viděl celou proceduru opravy motoru a opravdu vás vždy něco překvapí, i když si myslíte, že víte naprosto přesně co očekávat od motoru. Po vysledování pár kontrolních měření na motoru však už zkušený opravář tuší potřebné kombinace zásahů a je schopen motor poměrně rychle vrátit do správného funkčního stavu.

Chtěl bych také poukázat na problém nedostatku kvalitních náhradních dílů. Jelikož do nedávna nebyl dostatek prostředků vynakládaných na Armádu České Republiky, tak se tento nedostatek stále projevuje v nižších větvích poskytování služeb.

Situace se v průběhu mé práce teoretiky zlepšila díky vzniklému konfliktu nedaleko českých hranic a také díky narůstající obavě z mobilně operujícím teroristického hnutí. Tyto a jiné aspekty donutily vládu České Republiky transferovat a vynakládat větší peněžní prostředky na ozbrojenou složku České Republiky. Bohužel implementace bude trvat delší dobu a to stále znamená nižší efektivitu práce.

Nedostatek kvalitních dílů je velmi ožehavé téma, jelikož lidé, kteří nákupy nových dílů mají na starosti, mají znalosti v ekonomickém směru a je pro ně žádoucí ušetřit peněžní prostředky což ústí ke koupím levnějších dílů, které se ovšem opotřebí rychleji nežli díly dražší a ve výsledku to může dopadnout tak, že daný celek se dříve musí opravit na vlastní náklady z důvodu závady. Tyto kroky poté vedou k navýšení výdajů firmy nejen na mzdových nákladech ale i k různým penalizacím z důvodů pozdního odevzdávání zakázek, zvyšováním stresu zaměstnanců a stres znamená větší pravděpodobnost udělení chyby, což je nežádoucí. V tom nejhorším případě se dá pomýšlet i na kritické selhání celku vedoucí k fatálnímu kolapsu, který vést ke ztrátě lidských životů. Z tohoto důvodu nevidím důvod k šetření prostředků na nové díly, nehledě na to, že postupy oprav a diagnostiky bez dobrých dílů jsou velmi zdlouhavé a tudíž neefektivní.

Nejen náhradní díly ale i kvalifikovaní lidé jsou potřeba k rychlé opravě motoru a já si dovoluji tvrdit, že v průběhu mé práce jsem narazil pouze na odborníky ve svém oboru. Nejen na odborníky s mnohaletými zkušenostmi ale i zároveň zapálené fandky do letectví což je pro tuto práci nesporně vítaná vlastnost.

Jsem velmi rád, že jsem mohl být po určitý čas součástí týmu leteckých oprav. Tato práce byla velmi zajímavá a poučná, ale hlavně všechno jsem si mohl reálně vyzkoušet a ihned vidět výsledky práce na motoru, což pro mne bylo na práci nejzajímavější.

Seznam použitých zdrojů

- [1] letajicihrosi.cz (2015): Pohonná jednotka – motory TV3-117. [online]. [cit.2015-3-3]. Dostupné z <<http://www.letajicihrosi.cz/vrtulnik-mi-17/pohonna-jednotka-motory-tv3-117/>>.
- [2] letajicihrosi.cz (2014): Vrtulník Mi-17/171Š. [online]. [cit.2014-30-1]. Dostupné z <<http://www.letajicihrosi.cz/vrtulnik-mi-17/>>.
- [3] letajicihrosi.cz (2014): Mi-171Š – základní data. [online]. [cit.2014-30-1]. Dostupné z <<http://www.letajicihrosi.cz/vrtulnik-mi-17/mi-171s-zakladni-data/>>.
- [4] motorech.com (2015): AI-9. [online]. [cit.2015-12-3]. Dostupné z <<http://www.motorsich.com/eng/products/aircraft/auxiliary/ai-9/>>.
- [5] caa.cz (2015): Zvláštní specifikace letové způsobilosti. [online]. [cit.2015-11-3]. Dostupné z <<http://www.caa.cz/letadla/zvlastni-specifikace-letove-zpusobilosti?highlightWords=AI-9V>>.
- [6] klima.ru (2015): Helicopter engines [online]. [cit.2015-11-3]. Dostupné z <<http://www.klimov.ru/en/production/helicopter/TV3-117/>>.
- [7] brigadyr.net (2015): TV3-117. [online]. [cit.2015-12-3]. Dostupné z <http://www.brigadyr.net/letecka_tehnika/letecke_opravny_malesice_05/tv3_117/tv3_117.htm>.
- [8] KOCÁB, J., ADAMEC, J. (2008): Letadlové motory. Praha CORONA, ISBN: 978-80-86116-54-9
- [9] L. O. M. Praha. Základní TTD motoru TV3-117, KOLEKTIV SPOLEČNOSTI L. O. M. Praha. Interní dokument pro údržbu TV3-117. Praha.
- [10] L. O. M. Praha. Konstrukce TV3-117, KOLEKTIV SPOLEČNOSTI L. O. M. Praha. Interní dokument pro údržbu TV3-117. Praha.
- [11] L. O. M. Praha. Systémy motoru TV3-117, KOLEKTIV SPOLEČNOSTI L. O. M. Praha. Interní dokument pro údržbu TV3-117. Praha.
- [12] Fotostory – Příběh Generální opravy motoru TV3-117 „Od bedny po zkušebnu“ LOM noviny Michal Jágrik