

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH
LETECKÁ FAKULTA

Osové kompresory LTKM

Roman GÁŠPÁR

ZÁVEREČNÁ PRÁCA

2009

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH

LETECKÁ FAKULTA

Leteckého inžinierstva

Osové kompresory LTKM

ZÁVEREČNÁ PRÁCA

Roman Gášpár

Vedúci diplomovej práce:

Ing. Marián HOCKO, PhD.

Konzultant diplomovej práce:

Košice 2009

Analytický list

Autor:	Roman Gášpár
Názov práce:	Osové kompresory LTKM
Jazyk práce:	slovenský
Typ práce:	Záverečná práca
Počet strán:	27
Univerzita:	Technická univerzita v Košiciach
Fakulta:	Letecká fakulta (LF)
Katedra:	Leteckého inžinierstva (KLI)
Študijný odbor:	Prevádzka lietadiel
Študijný program:	Motorové vozidlá, koľajové vozidlá, lode a lietadlá
Mesto:	Košice
Vedúci DP:	Ing. Marián HOCKO, PhD.
Dátum odovzdania:	13. január 2009
Kľúčové slová:	osové, kompresory, LTKM
Kategória Konspekt:	Technika, technológia, inžinierstvo; Dopravné prostriedky
Citovanie práce:	Gášpár, Roman: Osové kompresory LTKM. Záverečná práca. Košice: Technická univerzita v Košiciach, Letecká fakulta, 2009. 27 s.
Názov práce v AJ:	Axial flow compressors
Kľúčové slová v AJ:	axial, compresor

Abstrakt v SJ

Práca obsahuje priblíženie problematiky axiálnych kompresorov. Zaoberá sa základnou koncepciou a fyzikálnymi javmi objavujúcimi sa u týchto typov kompresorov.

Abstrakt v AJ

The work includes approaching issues axial compressors. It deals with basic concepts and physical phenomena emerging in these types of compressors.

Zadanie práce

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH

Letecká fakulta

Katedra Leteckého inžinierstva
akademický rok: 2008/2009

ZADANIE ZÁVEREČNEJ PRÁCE

pre: **Roman GÁŠPÁR**

Odbor: Prevádzka lietadiel

Študijný program: Motorové vozidla, koľajové vozidla, lode a lietadla

Vzhľadom k tomu, že ste splnili požiadavky učebného plánu, zadáva Vám dekan fakulty na návrh vedúceho vedecko-pedagogického pracoviska v zmysle zákona o VŠ č.131/2002 a Študijného poriadku TU §18, ods. 3 túto tému záverečnej práce:

Osové kompresory LTKM

POKYNY PRE VYPRACOVANIE

Osnova práce:

1. Úvod
2. Stupeň osového kompresora
3. Prúdenie vzduchu kompresorovou rovinnou mrežou
4. Charakteristiky profilovej mreže osového kompresora
5. Záver

Cieľ ZP: Prehľadným spôsobom spracovať problematiku stupňa a profilovej mreže osového kompresora LTKM.

Rozsah laboratórnych a grafických prác : podľa potreby.

Obsah

Zoznam obrázkov	6
Úvod	7
1 Kompresory	8
1.1 Požiadavky	8
1.2 Základné rozdelenie.....	8
2 Konštrukcia kompresorov.....	11
2.1 Rotorová časť	11
2.1.1 Základná koncepcia	11
2.1.2 Rotorové lopatky.....	12
2.1.3 Hriadele a čapy :	15
2.2 Statorová časť	15
2.2.1 Statorová skriňa :	15
2.2.2 Statorové lopatky	17
3 Stupeň kompresora	20
3.1 Prúdenie v lopatkovej mreži kompresora	22
3.2 Parametre stupňa axiálneho kompresora	23
3.2.1 Stlačenie stupňa	23
3.2.2 Merná práca stupňa	24
3.2.3 Účinnosť stupňa	24
4 Záver.....	25
Zoznam použitej literatúry	26
Prílohy.....	27

Zoznam obrázkov

Obr. 1 Jednostupňový kompresor.....	9
Obr. 2 Dvojstupňový kompresor.....	9
Obr. 3 Trojstupňový kompresor	10
Obr. 4 Konštrukčné usporiadanie rotorov.....	12
Obr. 5 Rotorová lopatka axiálneho kompresora.....	12
Obr. 6 Tvar skrútenej lopatky.....	13
Obr. 7 Aerodynamické charakteristiky.....	13
Obr. 8 Geometrické charakteristiky.....	14
Obr. 9 Spôsoby uchytenia rotorových lopatiek.....	14
Obr. 10 Niektoré tvary poistiek obežných lopatiek.....	15
Obr. 11 Statorová skriňa.....	16
Obr. 12 Druhy statorových skriň.....	17
Obr. 13 Pozdĺžne delené skrine.....	17
Obr. 14 Priečne delený stator s lopatkami uchytenými v prstencoch.....	18
Obr. 15 Spôsoby uchytenia statorových lopatiek.....	18
Obr. 16 Príklady tesnení pre nízke tlakové rozdiely.....	19
Obr. 17 Príklady tesnení pre vysoké tlakové rozdiely.....	19
Obr. 18 Stupeň axiálneho kompresora.....	20
Obr. 19 Znázornenie vzťahu adiabatických prác ku statickým stavom.....	21
Obr. 20 Lopatková mreža stupňa osového kompresora	22
Obr. 21 Usmerňovacia lopatková mreža pred prvým stupňom kompresora.....	22
Obr. 22 Kombinovaný rýchlostný trojuholník.....	23

Úvod

V súčasnosti sú lietadlá, čo sa týka dostupných technológií, na vrchole. Každá jedna časť lietadla je vyrobená najmodernejšími technológiami a každá generácia lietadiel prináša vždy niečo nové. Výnimkou nie sú ani axiálne kompresory, ktoré sú v súčasnosti neodmysliteľnou súčasťou každého leteckého turbokompresorového motora.

Axiálne kompresory prešli dlhým vývojom aby sa dostali na súčasnú technologickú úroveň a pre nás už dnes základné poznatky ohľadom tejto problematiky neboli vždy samozrejmosťou. Táto práca vám prinesie práve základné poznatky z oblasti konštrukcie axiálnych kompresorov a základných princípov prúdenia v kompresore.

1 Kompresory

Úlohou kompresora v sústave leteckého lopatkového motora je zabezpečenie stlačovania a dodávky vzduchu v požadovanom množstve do spaľovacej komory pre zabezpečenie kontinuálneho procesu spaľovania paliva.

1.1 Požiadavky

Keďže je základným konštrukčným elementom je na kompresor je kladená rada požiadaviek ako:

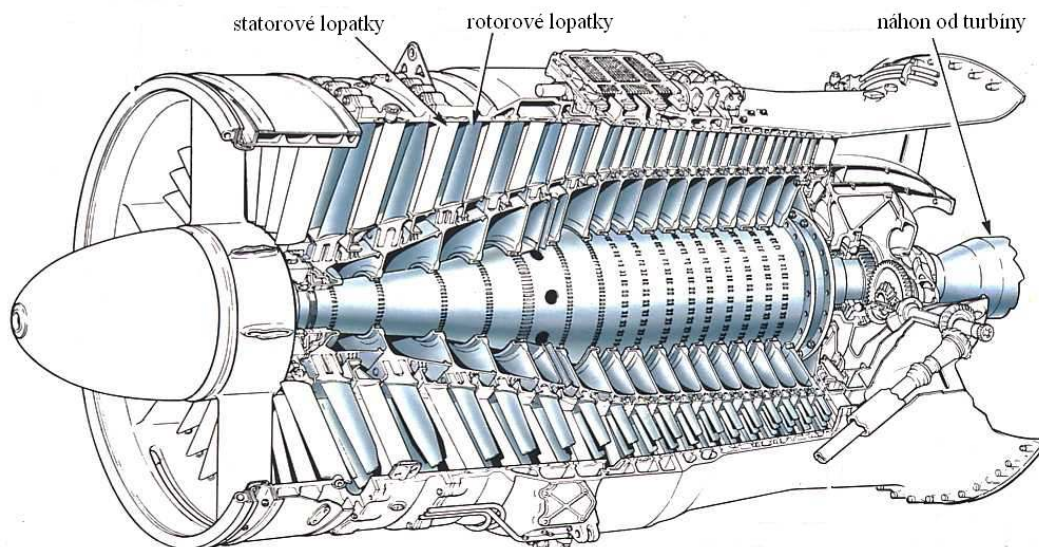
- Plynulá dodávka vzduchu do spaľovacej komory;
- Vysoký stupeň stlačenia vzduchu;
- Stabilná práca pri všetkých režimoch činnosti motora;
- Vysoká účinnosť;
- Minimálna hmotnosť;
- Minimálne rozmery;
- Jednoduchá konštrukcia;
- Jednoduchá obsluha;
- Jednoduchá údržba;
- Nízka cena.

1.2 Základné rozdelenie

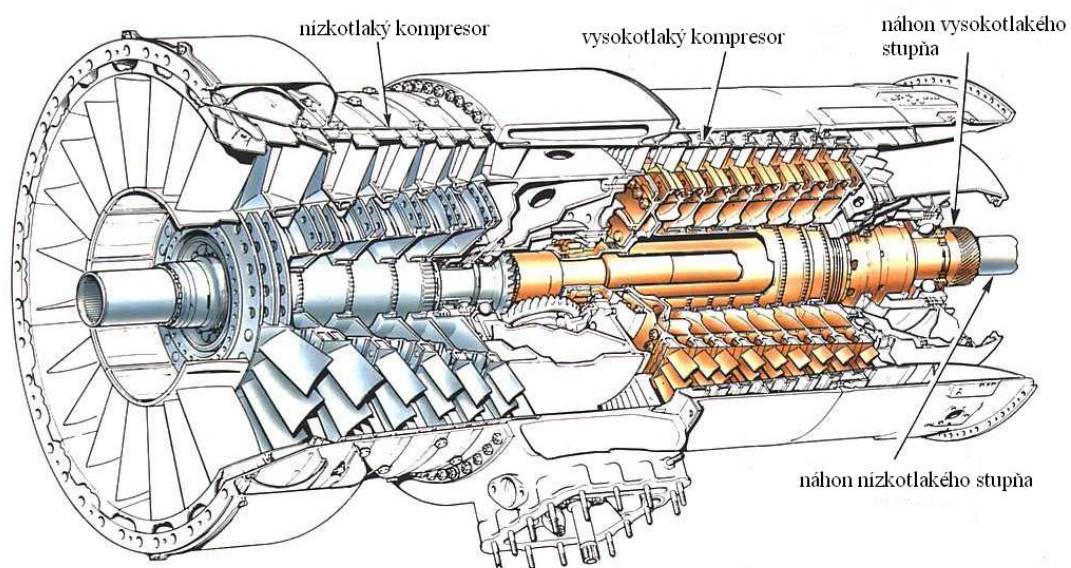
Axiálne kompresory by sme mohli rozdeliť podľa viacerých kritérií. Mohli by sme previesť rozdelenie podľa každého konštrukčného prvku zvlášť, ale keďže každý letecký motor je iný museli by sme rozdeľovať dosť podrobne. Preto musíme hľadať najcharakteristickejšie spoločné znaky. Jedným z takých znakov je počet stupňov . Rozoznávame tri základné druhy a to jedno, dvoj a trojstupňový kompresor. Tieto konštrukcie sú charakteristickými svojimi stupňami ale aj počtom hriadel'ov.

Jendostupňový kompresor (obr.1) má jeden stupeň kompresora a jeden náhod od turbíny.

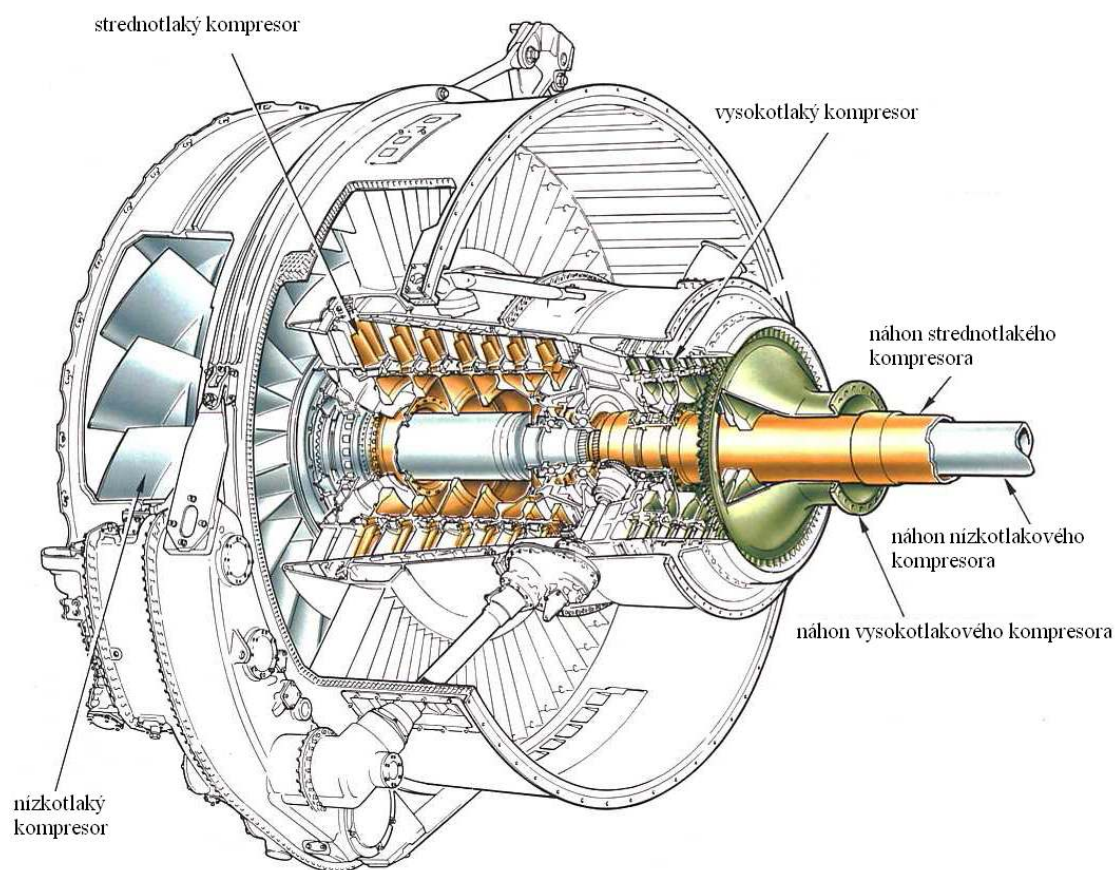
Dvojstupňový (obr. 2) a trojstupňový kompresor (obr.3) majú viacej stupňov kompresora. U dvojstupňového dva, konkrétne nízkotlaký a vysokotlaký stupeň a u trojstupňového sú to tri stupne a to nízkotlaký, vysokotlaký a strednotlaký stupeň.



Obr. 1 Jednostupňový kompresor



Obr. 2 Dvojstupňový kompresor



Obr. 3 Trojstupňový kompresor

2 Konštrukcia kompresorov

Axiálne kompresory sa skladajú z mnohých častí, ktoré majú rôzne funkcie. Tieto časti, ich počet, veľkosť a funkcia sa menia v závislosti od typu motora. Avšak základná koncepcia je stále rovnaká, rotor a stator ako je to aj vidno na obr.1.

2.1 Rotorová časť

Do rotorovej časti zahŕňame:

- bubon alebo nosný prstenec
- rotorové lopatky
- hriadele
- čapy

2.1.1 Základná koncepcia

Rozoznávame tri druhy usporiadania axiálneho kompresora:

Bubnové usporiadanie – (obr. 4a)používajú sa len vo výnimočných prípadoch napr. u nízkotlakovej časti dvojrotorového kompresora.

Výhodou tohto usporiadania je jednoduchá konštrukcia a výroba, veľká tuhosť a malá hmotnosť. Nevýhodou je malá pevnosť, ktorá neumožňuje veľké obvodové rýchlosti, menšie stlačenie v stupňoch a nakoniec vychádza veľký priemer turbíny vzhľadom na priemer kompresora.

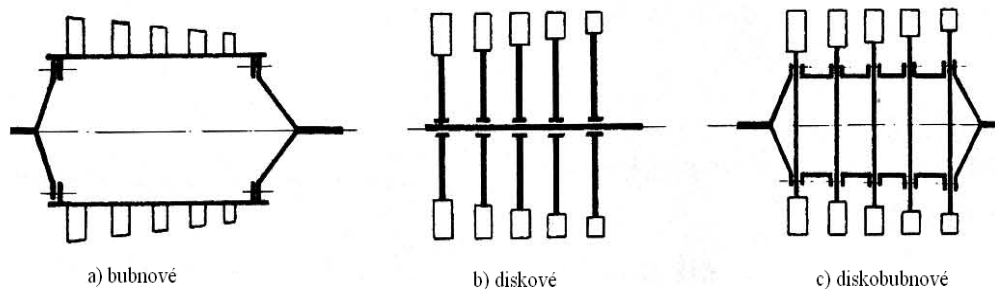
Diskové usporiadanie – (obr. 4b)používa sa ojedinele. Používa sa pri samostatných či predradených stupňoch.

Výhodami tohto usporiadania je veľká pevnosť konštrukcie, možnosť veľkého stlčenia stupňov a priemery turbíny a kompresora sú približne rovnaké. Nevýhodou je zložitejšia konštrukcia, malá tuhosť, väčšia hmotnosť a problémy s prenášaním veľkých výkonov na jednotlivé kolesá.

Zmiešané usporiadanie- (obr. 4c)je najrozšírenejšie

Výhodami tohto usporiadania je súčasne dobrá tuhosť aj pevnosť konštrukcie, ďalej je to zhodný priemer turbíny a kompresora, dostatočne veľké stlačenie v stupňoch a prijateľná hmotnosť. Nevýhodou je zložitá konštrukcia a náročná montáž a demontáž.

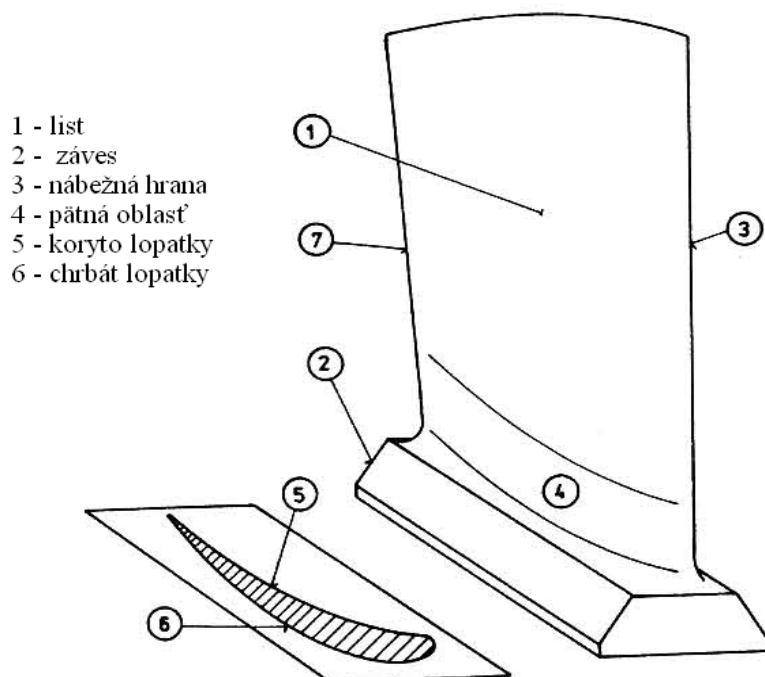
U tohto usporiadania je nutné taktiež riešiť vzájomné spojenie diskov. Toto sa dosahuje pomocou lícovaných skrutiek (obr 3.17 str.76), pomocou čelných drážiek (3.25 str 87) alebo pomocou priebežných osadených svorníkov (3..26)



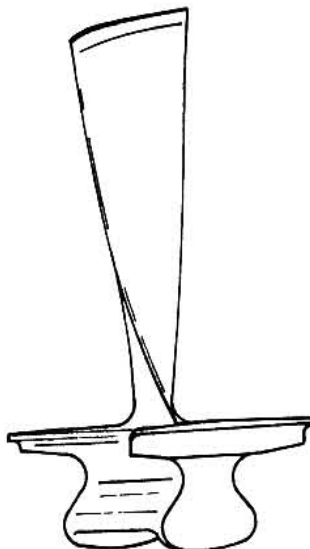
Obr. 4 Konštrukčné usporiadanie rotorov

2.1.2 Rotorové lopatky

Ku stlačovaniu vzduchu dochádza v dôsledku predávania mechanickej energie lopatkami pretekajúcemu médiu. Rotorové lopatky (obr. 5). sú hlavnou funkčnou časťou celej rotorovej časti. Profily lopatiek sa delia na podzvukové a nadzvukové (klinové). Základom týchto lopatiek sú vrtuľové alebo krídlové profily, ktoré sú vhodné ohnuté, aby bolo dosiahnuté správne usmernenie prúdu v profilovej mreži. Pri bližšom pohľade na rotorovú lopatku vidíme, že je skrútená (obr. 6). Dôvodom skrútenia je snaha o zachovanie približne kontinuálnej rýchlosti prúdenia po celej lopatke.



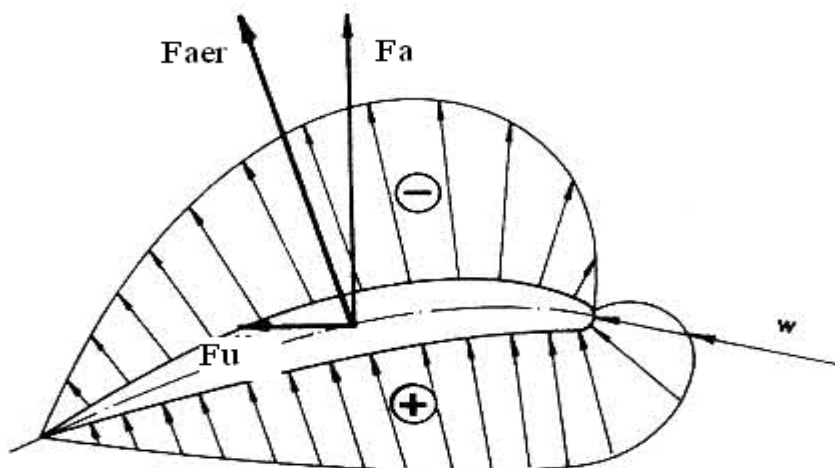
Obr. 5 Rotorová lopatka axiálneho kompresora



Obr. 6 Tvar skrútenej lopatky

Absolútna rýchlosť musí byť po celej dĺžke lopatky rovnaká a musí vychádzať pod rovnakým uhlom. To platí aj pre nábežnú aj pre odtokovú hranu.

Tak ako na krídlo, tak aj na lopatku pôsobia aerodynamické sily. A taktiež ako profil krídla má svoje aerodynamické (obr.7) a geometrické (obr. 8) chacharakteristiky.

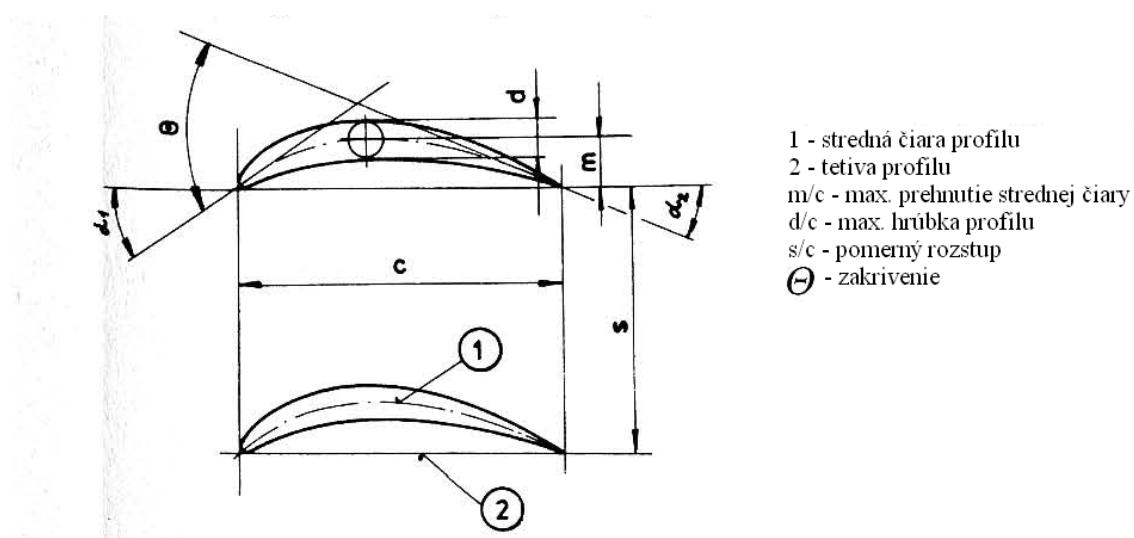


F_{aer} – výsledná aerodynamická sila

F_a - osová zložka sily

F_u - obvodová zložka sily

Obr. 7 Aerodynamické charakteristiky



Obr. 8 Geometrické charakteristiky

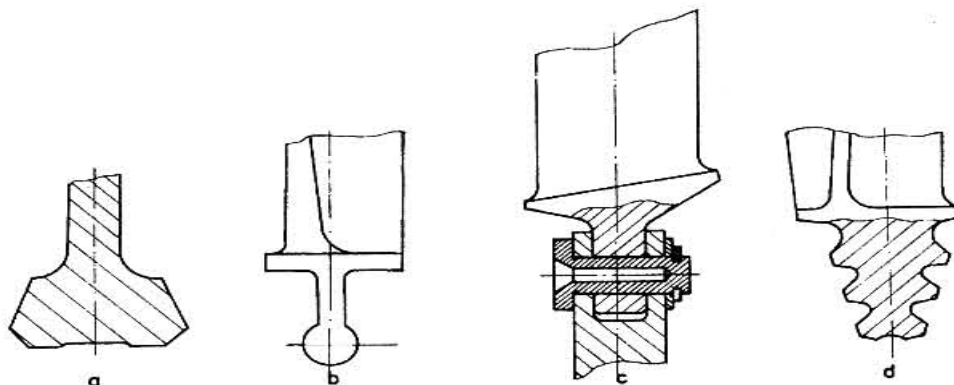
Obežné lopatky musia spĺňať niektoré základné požiadavky

- profilová časť lopatky musí mať dobré aerodynamické vlastnosti, aby kompresora mal vysokú účinnosť t.j. aby mal malý odpor, vysoký vztlak a aby mohol pracovať v čo najväčšom intervale uhlov nábehu bez odtrhnutia prúdu.
- Tvar a materiál musia zaručiť dostatočne vysokú pevnosť
- Profilová časť musí byť vyrobená s čo najväčšou presnosťou a povrch musí byť leštený pretože by stopy po mechanickom obrábaní mohli byť východiskovým bodom pre vznik únavových trhlin.
- Lopatky nesmú kmitať s veľkou amplitúdou ani v jednom režime. Na toto je nutné dbať už pri návrhu lopatky a to nielen tvarovaním listu ale aj samotným uchytením lopatky.

2.1.2.1 Závesy lopatiek

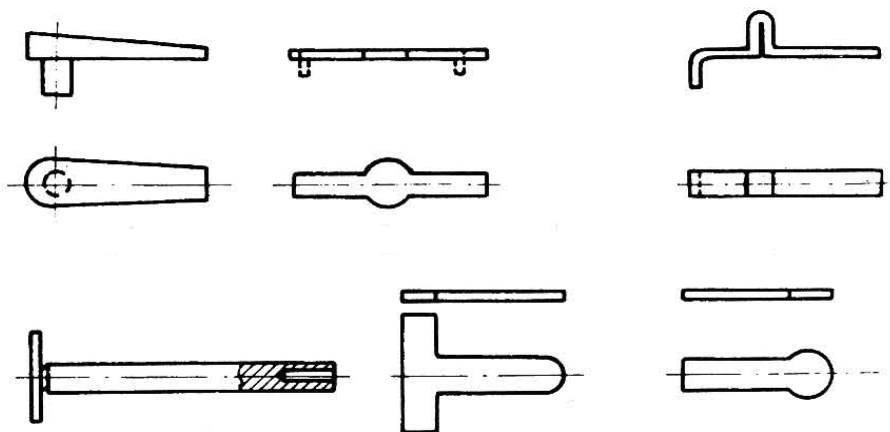
Obežné lopatky sa upevňujú týmito spôsobmi (obr. 9):

- rybinovým závesom (obr.9a)
- valcovým závesom (obr.9c)
- vidlicovým závesom (obr.9b)
- stromčekovým závesom (obr.9d)



Obr. 9 Spôsoby uchytenia rotorových lopatiek

Avšak lopatky je nutné ďalej zaistiť proti vysunutiu z drážiek, ktoré môže nastať následkom pôsobenia axiálnych síl. Istia sa buď všetky naraz pomocou krycieho prstenca alebo individuálne pomocou kolíkov, čapov, pružných krúžkov alebo plechovými poistkami. Niektoré tvary poistiek sú na obr. 10 .



Obr. 10 Niektoré tvary poistiek obežných lopatiek

Rotorové lopatky sa vyrábajú z ľahkých hliníkových zliatin, titánu, ocele alebo vysoko teplotných zliatin ako je NIMONIC či INOCEL. Materiál sa volí v závislosti od veľkosti namáhania .

2.1.3 Hriadele a čapy :

Sú mechanicky opracované z výkovku z tepelne opracovaných žiaruvzdorných chrómniklových ocelí. Tradičné zloženie :0,1% C, 18% Cr, 8% Ni

Najkvalitnejšiep tu použité žiaruvzdorné ocele sú:

- STN 17 255 – 24% Cr + 19% Ni - do 1100 C
- STN 17 253 – 20% Cr + 38% Ni – do 1200 C

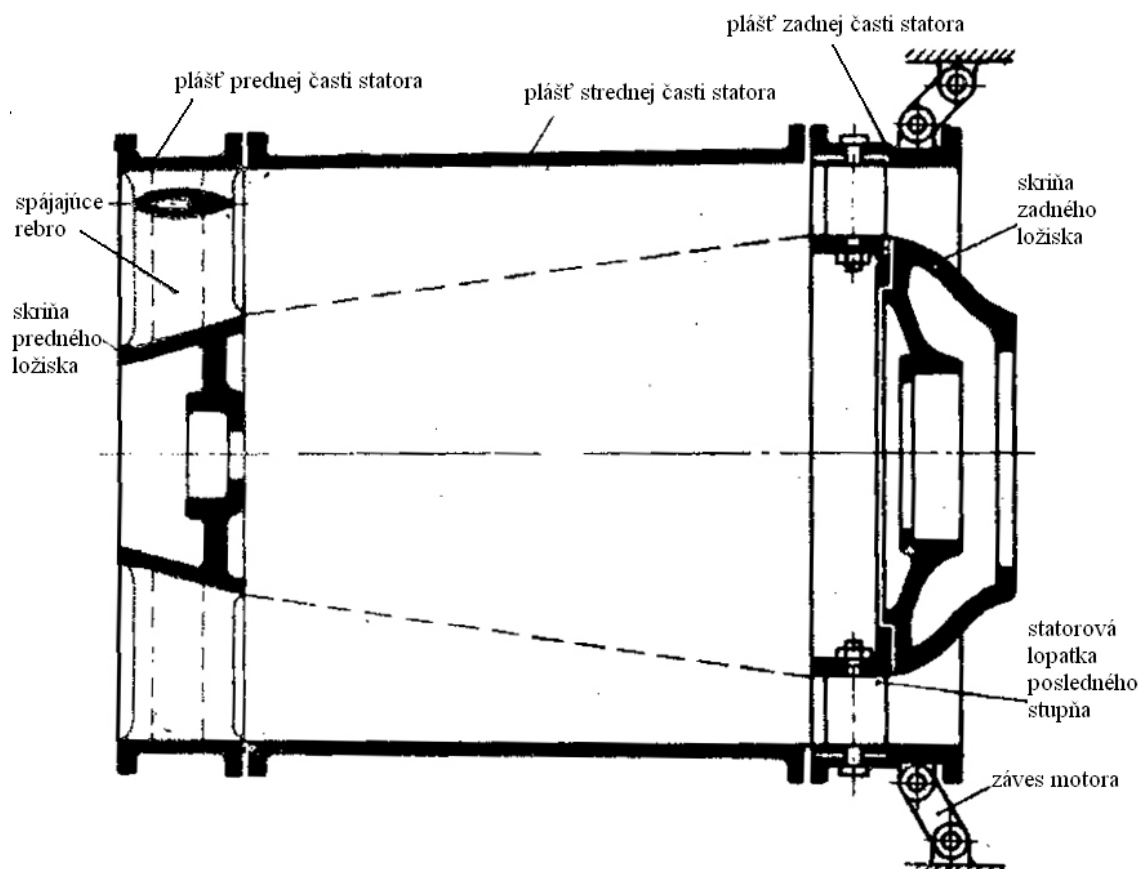
2.2 Statorová časť

Je tvorená vonkajším plášťom – statorovou skriňou, statorovými lopatkami a prípadne skriňami ložisiek, čo je ale ovplyvnené spôsobom uloženia rotora.

2.2.1 Statorová skriňa :

Je závažným spojovacím, montážnym a silovým uzlom motora. Zaisťuje prenos síl a momentov do závesov motora a draku Skriňa je namáhaná od oboch opôr rotora, silami pôsobiacimi na statorové lopatky a vstupné ústrojenstvo, vnútorným pretlakom a silami a momentmi od ostatných častí motora. Konštrukcia skrine závisí od

konštrukcie použitého rotora, technológii výroby statorových lopatiek, počte stupňov a na celkovej koncepcii motora. Jednotlivé časti statorovej skrine sú zrejmé z obr. 11.

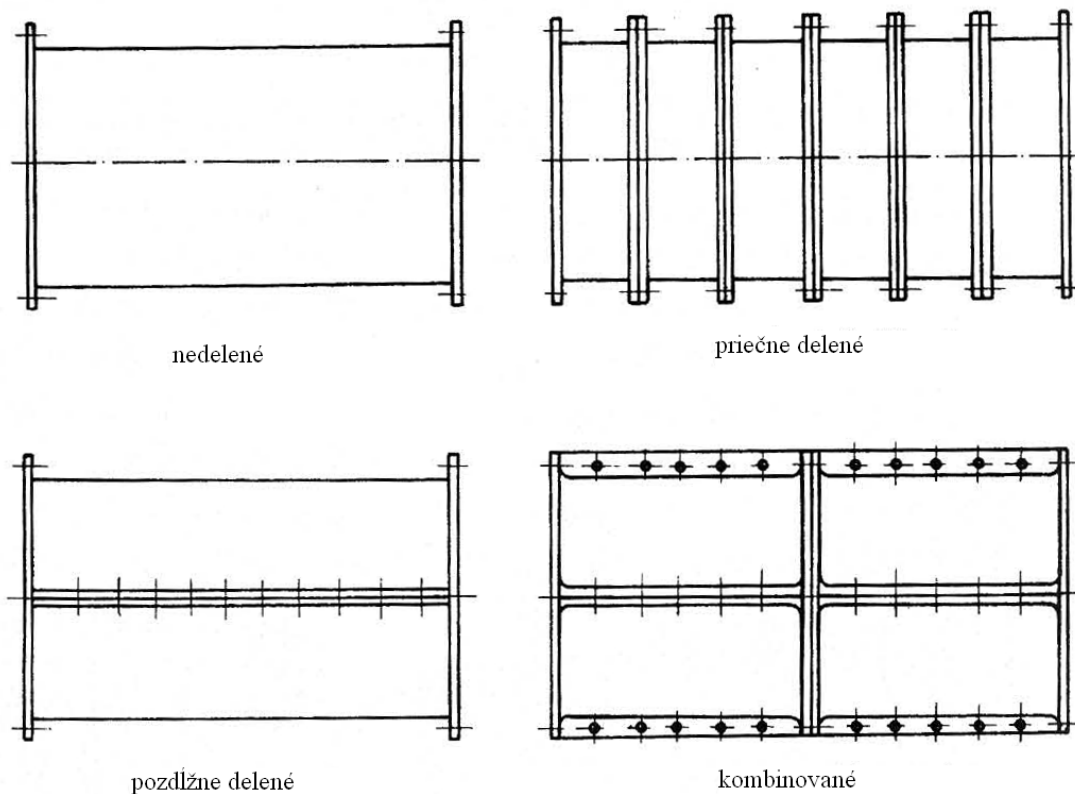


Obr.11 Statorová skriňa

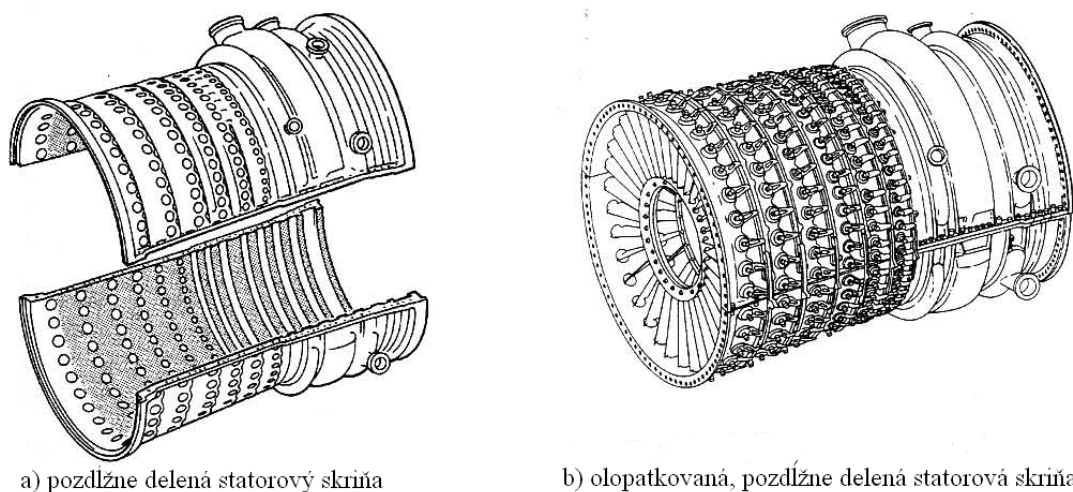
Na skrine sú kladené nasledovné požiadavky:

- dostatočná pevnosť za tepla aj za studena
- jednoduchá montáž
- tesnosť
- odolnosť voči prerazeniu

Skriňa kompresorov bývajú rôznej konštrukcie a zásade ich však rozdeľujeme na delené a nedelené, kde môžeme uvažovať deliacu rovinu pozdĺžne aj kolmo na os motora. Jednotlivé konštrukcie môžeme vidieť na obr.12. a obr.11.



Obr.12 Druhy satorových skriň



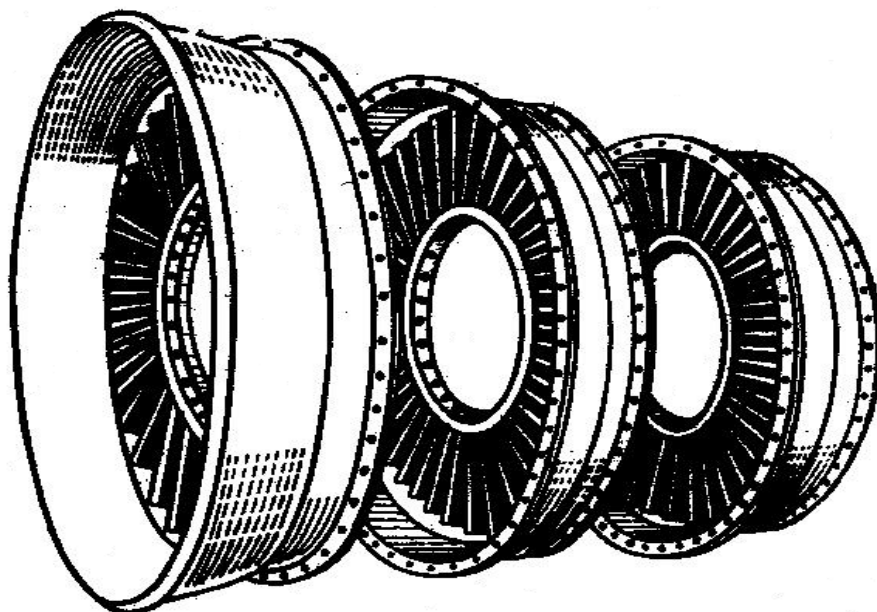
a) pozdĺžne delená satorový skriňa

b) olopatkovaná, pozdĺžne delená satorová skriňa

Obr. 13 Pozdĺžne delené skrine

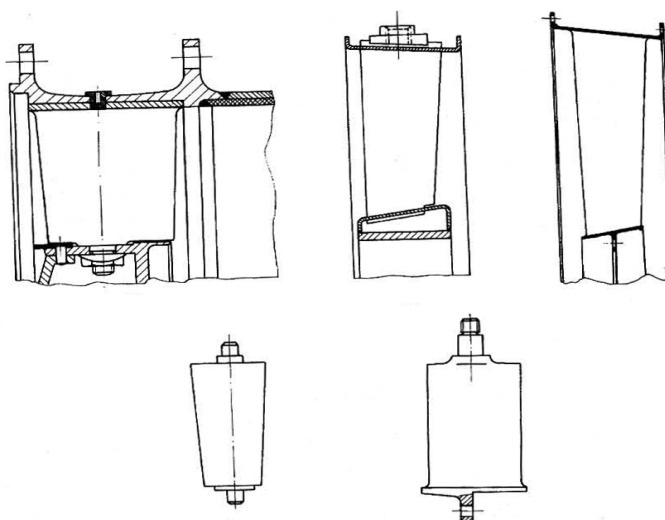
2.2.2 Satorové lopatky

Uchytenie lopatiek závisí od konštrukcie satorovej skrine. Môže byť jednostranné alebo obojstranné. Rámovým uchytením vznikne veniec rozvádzacích lopatiek a to obdobne ako u skrine delený (obr. 13b a obr.14) alebo nedelený .



Obr. 14 Priečne delený stator s lopatkami uchytenými v prstencoch

Podľa spôsobu uchytenia lopatiek do skrine rozoznávame rozoberateľné (jedna alebo niekoľko lopatiek sú priskrutkované) alebo nerozoberateľné uchytenia(lopatky sú privarené alebo prinitované). Spôsoby uchytenia sú na obr.15.



Obr. 15 Spôsoby uchytenia statorových lopatiek

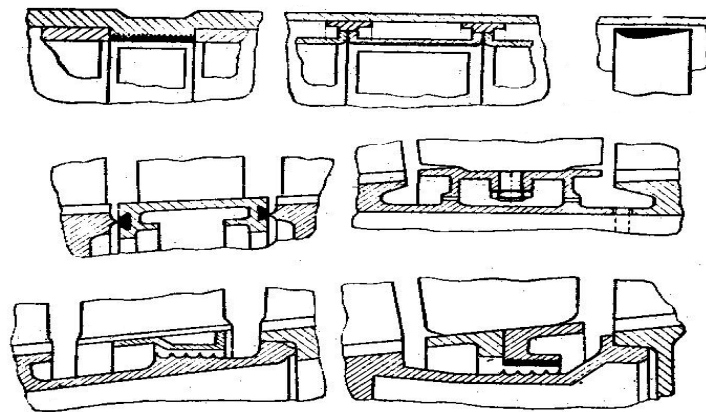
Ďalej rozoznávame letmé uchytenie a obojstranné uchytenie lopatiek. Prvί prípad sa hodί pre krátke a silné lopatky, ktoré sú dostatočne tuhé a nekmitajú. Nevýhodou tohto uchytenia sú straty pretekaním vzduchu radiálnymi medzerami lopatkou

a rotorom. Statorové lopatky uchytené na oboch koncoch sa u krátkych lopatiek riešia privarením oboch koncov.

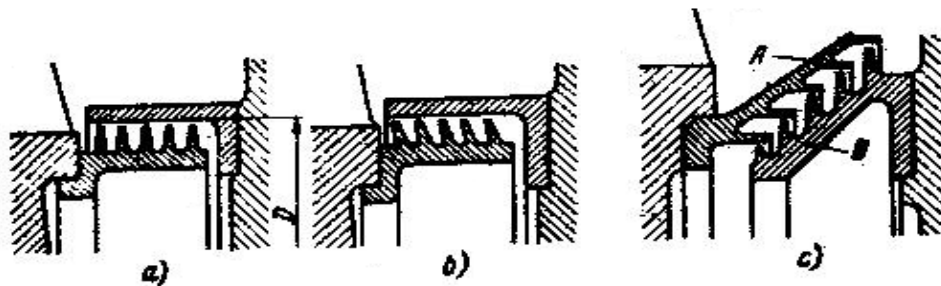
U dlhších lopatiek zostáva jeden koniec voľný v radiálnom smere, aby sa umožnila dilatácia lopatky v dôsledku nerovnomerného ohrevu lopatiek a skrine kompresora. Dĺžka posledného stupňa rozvádzačích lopatiek s ohľadom na straty energie vplyvom radiálnych vôľí by nemala klesnúť pod 25mm. Rozvádzačie lopatky sa vyrábajú rovnakým spôsobom a z rovnakých materiálov ako rotorové lopatky.

Medzi rotujúcimi a statorovými časťami existujú vôle. Týmito vôľami uniká plyn a aby množstvo plynu, ktoré uniká bolo čo najmenšie sa používajú rôzne druhy tesnení.

Pri menších tlakových rozdieloch sa používajú jednoduchšie tesnenia, aké sú na obr. 16. Pri väčších tlakových rozdieloch je nutné používať labyrintové tesnenia, ktoré sú zobrazené na obr. 17



Obr. 16 Príklady tesnení pre nízke tlakové rozdiely

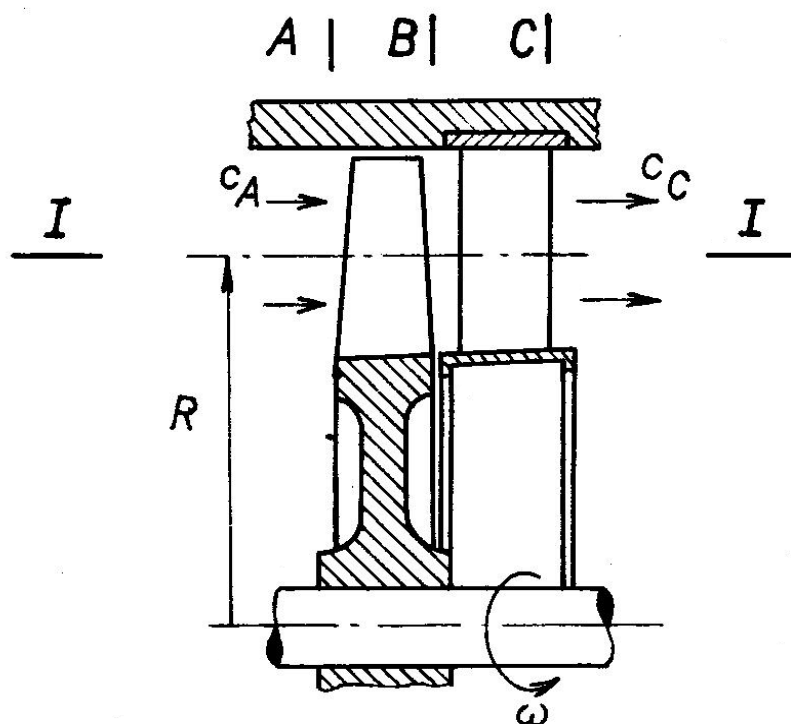


- a - jednostranný priami labyrint
- b - jednostranný skonený labyrint
- c - obojstranný labyrint

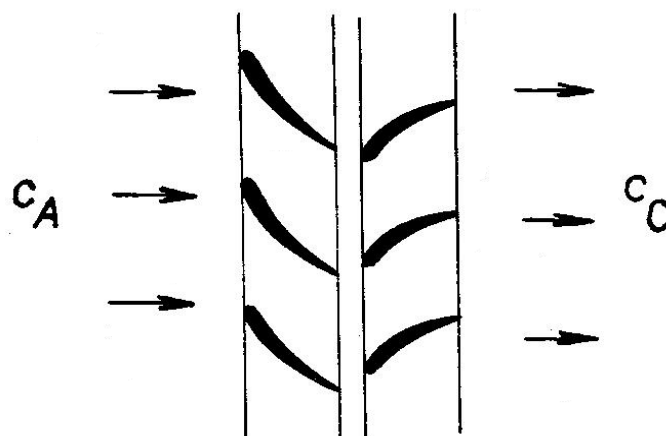
Obr. 17 príklady tesnení pre vysoké tlakové rozdiely

3 Stupeň kompresora

Radením rotorových a statorových lopatiek za sebou dostávame tzv. stupeň kompresora. Tento stupeň tvorí základný element axiálnych kompresorov a zároveň je aj ich charakteristickou črtou. Na obr. 18 je znázornený stupeň axiálneho kompresora a jeho rozvinutý valcový rez.



ROZVINUTÝ VALCOVÝ REZ I-I

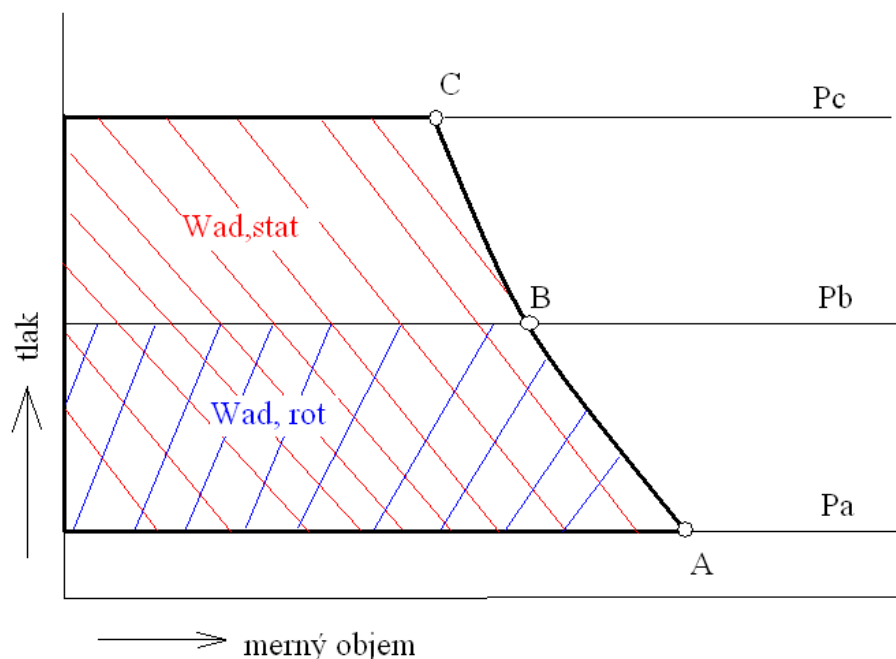


Obr. 18 Stupeň axiálneho kompresora

Pre kompresory leteckých lopatkových motorov je typické, že obe systémy kanálov sú difúzorné. Dochádza v nich preto k poklesu rýchlosti a zároveň k nárastu tlaku a teploty. Táto skutočnosť sa dá vyjadriť tzv. stupňom reakcie ρ , ktorý je definovaný pomerom adiabatických prác ku statickým stavom.

$$\rho = \frac{W_{ad,rotora}}{W_{ad,stupňa}}$$

Obe tieto práce sú znázornené na obr. 19



Obr. 19 Znázornenie vzťahu adiabatických prác ku statickým stavom

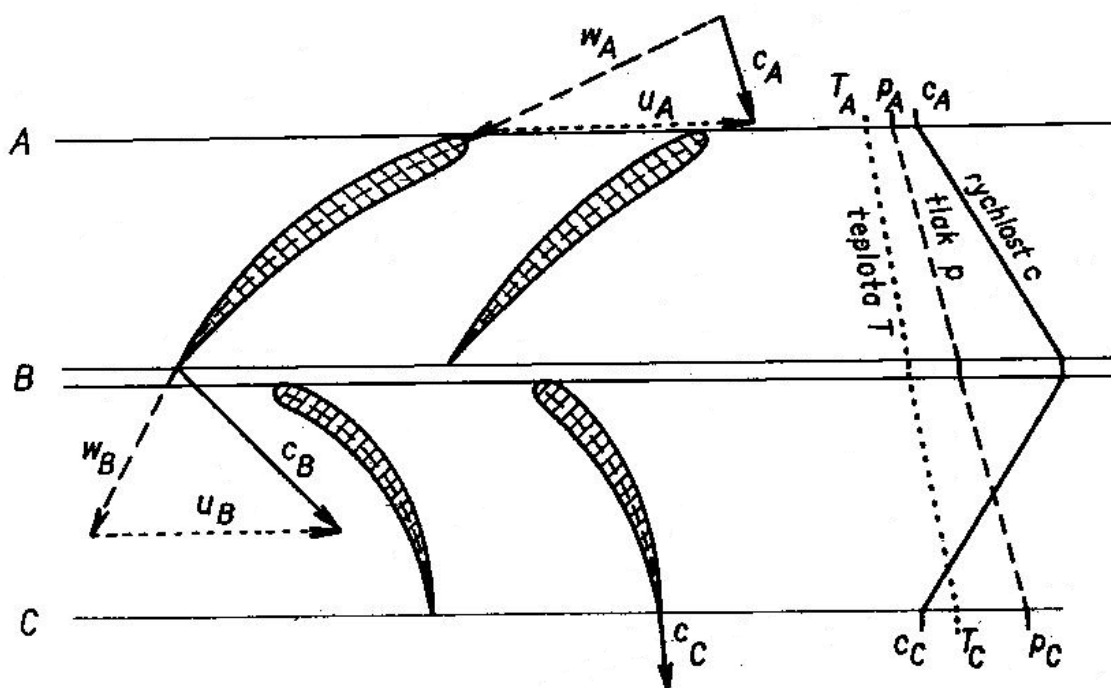
Stupeň reakcie sa dá približne vyjadriť pomerom prírastku tlaku v rotore a v celom stupni vzorcom:

$$\zeta = \frac{P_b - P_a}{P_c - P_a}$$

Veľkosť stupňa reakcie sa môže meniť v intervale od 0-1. Z hľadiska vysokej účinnosti a výrobnnej jednoduchosti sa najviac využíva lopatkovanie so stupňom účinnosti 0,5, kedy dochádza k nárastu tlaku v oboch kanáloch.

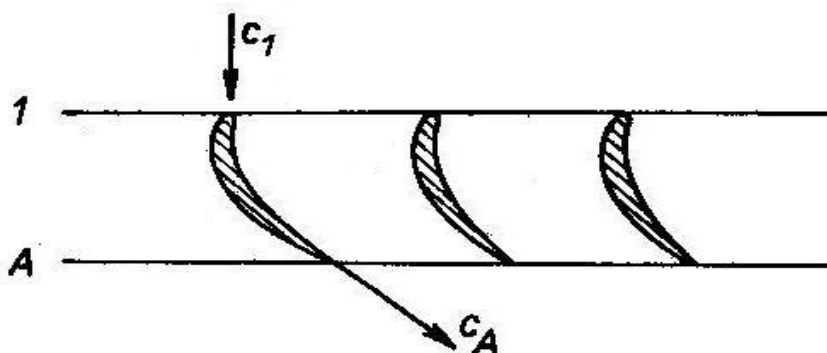
3.1 Prúdenie v lopatkovej mreži kompresora

Pre lepšie pochopenie budeme vychádzať z obr.20.



Obr.20 Lopatková mreža stupňa osového kompresora pre $\rho=0,5$

Absolútnu rýchlosť na vstupe do obežného kola C_A , ktorá musí byť súčasne rovná výstupnej rýchlosti zo statorových kanálov predchádzajúceho stupňa, predstavuje výslednica rýchlostí relatívnej W_A a obvodovej rýchlosti U_A . Pred prvú stupne kompresora, aby sa dosiahlo požadovaného smeru a veľkosti absolútnej rýchlosti, sa umiestňujú veniec s usmerňovacími lopatkami (obr 21). Ich charakteristickou črtou je, že usmerňovacie lopatky mreže majú zužujúci sa charakter.



Obr. 21 Usmerňovacia lopatková mreža pred prvým stupňom kompresora

Na výstupe z obežného kola, vzhľadom k difúznosti kanálu, relatívna rýchlosť W_B musí mať menšiu hodnotu. Keď ju vektorovo sčítame s výstupnou obvodovou

rýchlosťou U_B dostávame absolútnu rýchlosť C_B , ktorou prúdi vzduch do statorovej lopatkovej mreže.

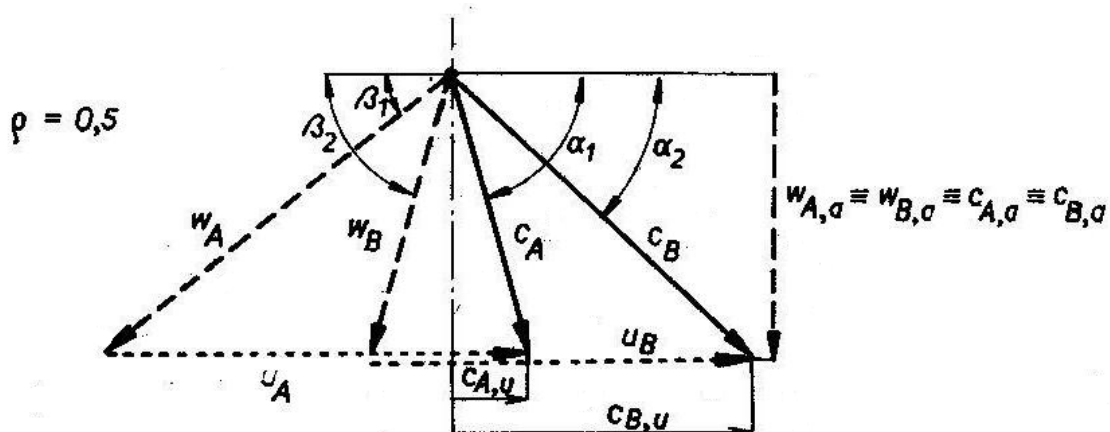
V difúzorých statorových kanáloch dochádza opäť k poklesu rýchlosti, ktorá má približne na výstupe smer a veľkosť rýchlosti C_A .

Pre stlačovanie v lopatkových mrežiach teda vo všeobecnosti platí:

- stlačovanie v kanáloch rotora prebieha na úkor relatívnej rýchlosti W
- stlačovanie v kanáloch statora prebieha na úkor absolútnej rýchlosti C

Tento priebeh zmien veličín je zobrazený na obr.20 vpravo.

Na základe týchto poznatkov je možné zostrojiť kombinovaný rýchlostný trojuholník (obr.22). Pre hodnotu $\rho = 0,5$, je kombinovaný rýchlostný trojuholník symetrický vzhľadom k zvislej ose. Každú rýchlosť môžeme rozložiť na obvodovú s indexom u a axiálnu rýchlosť s indexom a .



Obr. 22 Kombinovaný rýchlostný trojuholník

3.2 Parametre stupňa axiálneho kompresora

3.2.1 Stlačenie stupňa

Celkové stlačenie stupňa vychádza zo základnej rovnice:

$$\pi_{KC} = \frac{p_{2c}}{p_{1c}} [1]$$

S prihliadnutím na označovanie predchádzajúcich obrázkov bude mať rovnica tvar:

$$\eta_{st,c} = \frac{T_{C,c,ad} - T_{A,c}}{T_{C,c} - T_{A,c}} \pi_{st,c} = \frac{p_{C,c}}{p_{A,c}}$$

Pričom bežná hodnota stupňa stlačenia u axiálnych kompresorov je 1,2 – 1,4

3.2.2 Merná práca stupňa

V našom prípade môžeme uvažovať, že $u_A = u_B = U$. Teda základná rovnica pre výpočet mernej práce

$$W = c_{2,u} \cdot u_2 - c_{1,u} \cdot u_1$$

Bude mať tvar:

$$W_{e,st} = u \cdot (c_{B,u} - c_{A,u})$$

Táto hodnota sa bežne pohybuje okolo $35 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

3.2.3 Účinnosť stupňa

Celková adiabatická účinnosť bude vyjadrená výrazom:

$$\eta_{st,c} = \frac{T_{C,c,ad} - T_{A,c}}{T_{C,c} - T_{A,c}}$$

V súčasnosti sa účinnosť stupňov axiálnych kompresorov pohybuje v rozmedzí 0,88 – 0,92.

4 Záver

Účelom tejto práce bolo priblíženie problematiky osových kompresorov a to z konštrukčného ale aj z fyzikálneho hľadiska. Pokúsil som sa zobrazit' problematiku čo najjednoduchšie a čo najzrozumiteľnejšie pomocou jednoduchých príkladov a za pomoci zjednodušených podmienok.

Je dôležité poznamenať, že práca nerozoberá problematiku do hĺbky, nakoľko práca má informatívny charakter a má slúžiť pre čitateľa aby dosiahol všeobecný prehľad v problematike. Ďalej je nutné ešte pripomenúť, že z práce chýba značná časť problematiky a to konkrétne kapitola o pumpáži a jej odstraňovaní.

Zoznam použitej literatúry

[1] Ing. Adolf Ott, Csc - Základy teórie a konštrukcie leteckých lopatkových motoru
VVLS SNP Košice 1983

[2] doc. Ing. Josef Růžek, DrSc - Teorie leteckých motoru VA AZ Brno, 1979

[3] J. Kocáb, J. Adamec – Letadlové motory, KANTcz s.r.o., Praha 2000

[4] Rolls-Royce pls. – The jet engine, GH graphics ltd., Derby 1996

[5] OTIS Charles – Aircraft gas turbine powerplants, Jappensen, 2002

[6] <http://sk.wikipedia.org>

Prílohy

Príloha A: CD médium – záverečná práca v elektronickej podobe