

ŠKOLA PILOTŮ

Základy letu

ONLY FOR FLIGHT SIMULATION USAGE
NOT FOR REAL WORLD FLYING

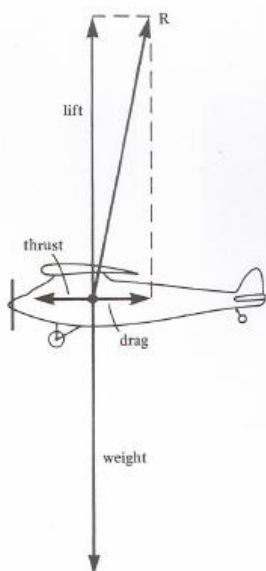
Úvod

Tato příručka slouží jako učební materiál ke studiu pro piloty ČSA Virtual v oblasti základech létání. Veškeré informace obsažené v tomto dokumentu jsou pouze pro použití v simulovaném létání a nesmí být použity v reálném letectví. Při tvorbě této dokumentace byly využity zdroje, které jsou uvedeny na konci tohoto dokumentu. Tímto autorům děkujeme.

Czech Airlines Virtual 2010

Základy fyziky letu

Při pohybu působí na těleso síly, které jsou vyvolány jednak odpory prostředí a jednak silami hmotovými působící na těleso pohybující se zrychleným pohybem po zakřivené dráze v gravitačním pole Země. Pro pohyb po zemském povrchu překonává hnací ústrojí tyto odpory tak, že působí na povrch Země silou stejné velikosti, ale opačného směru, než je celkový odpor tělesa při pohybu. Člověk a všichni ostatní živočichové i dopravní stroje pohybující se po zemském povrchu tak pro svůj pohyb využívají třetího Newtonova zákona. Pohonná síla, tah propulsního systému, vzniká jako reakce k síle akční, kterou propulsní systém působí na hmotu Země.



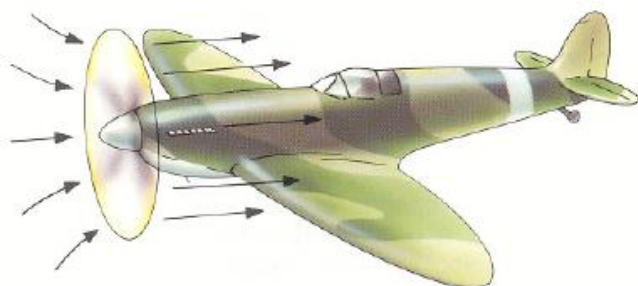
V případě vodorovného ustáleného letu letadla konstantní rychlostí působí na křídla letadla aerodynamické síly, vyvolané obtékáním vzduchu, jejichž svislá složka, vztlak (lift), působí vzhůru a je stejně velká jako tíha letadla. Další složkou aerodynamické síly je odpor (drag), působící kolmo na vztlak a má směr rychlosti nabíhajícího proudu vzduchu. Pro vodorovný let konstantní rychlostí musí být v souladu s prvním pohybovým zákonem k silám působících na letadlo přidána ještě další síla tak, aby součet všech vnějších sil působících na letadlo, byl roven nule. Touto silou je tah propulsní soustavy (thrust), který působí proti směru odporu a má stejnou velikost.

Propulsní soustava může vyvinout tah působící ve směru pohybu, tedy rychlosti letu jen na základě třetího pohybového zákona a to tak, že působí na jinou hmotu stejně velikou, ale opačnou silou. Jediná látka, která je v dostatečné míře k dispozici při letu v atmosféře Země, je vzduch.

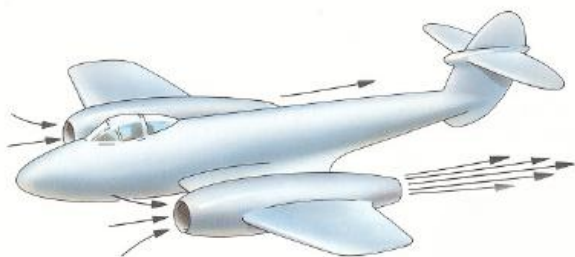
Akční síla, kterou působí propulsní soustava letadla na vzduch, vyvolává v souladu s druhým pohybovým zákonem zvýšení toku hybnosti vzduchu protékajícího propulzní soustavou. Protože je základním principem pro vyvození tahu propulsní soustavy letadla princip akce a reakce, je nazýván pohon letadla také pohonem reaktivním. Vlevo je náčrt sil působících na letadlo při vodorovném letu konstantní rychlostí.

Druhy propulsního systému

Pohon vrtulí – tah je vyvolán malým urychlením velkého množství vzduchu

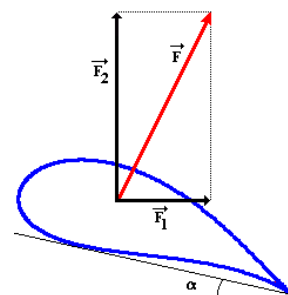
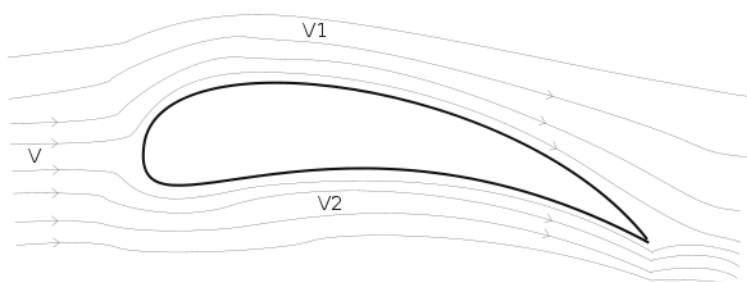


Pohon proudovým motorem – tah je vyvolán velkým urychlením malého množství vzduchu



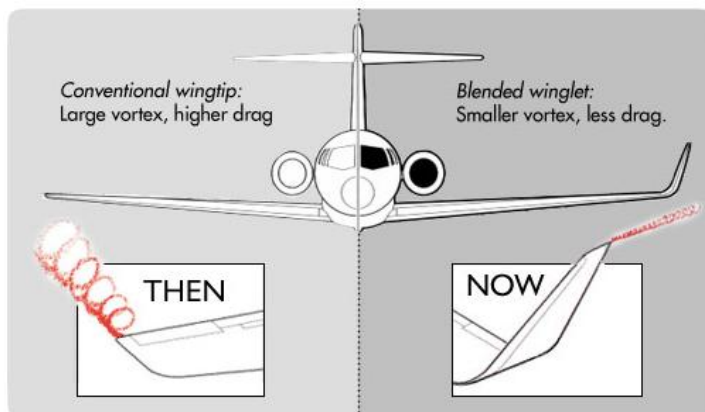
Křídlo

Profil nosných ploch (křidel) letadel má aerodynamický tvar a je konstruován tak, že nad křídlem dochází ke zhušťování proudnic, což má za následek větší rychlost proudění vzduchu nad křídlem. Podle Bernoulliho rovnice znamená, že nad křídlem vzniká vzhledem k atmosférickému tlaku podtlak. Pod křídlem naopak dochází ke zředění proudnic a tím pádem vzduch pod křídlem proudí pomaleji, což podle Bernoulliho rovnice znamená, že pod křídlem dochází k přetlaku vzhledem k atmosférickému tlaku. Přitom velikost podtlaku je větší než velikost přetlaku. Aerodynamickou sílu jde rozložit do dvou složek: odporová aerodynamická síla a vztlačková aerodynamická síla. Úhel, který svírá tečná rovina spodní části křídla, se směrem pohybu se nazývá úhel náběhu.



Winglety

Winglety (winglets) jsou nejefektivnějším způsobem snižování indukovaného odporu. Winglety mají profil s jednoduchým prohnutím střední křivky profilu s klenutím ve směru pomyslného sklopení křídla. V závislosti na velikosti a uspořádání winglety snižují indukovaný odpor i o více než 15%. V dnešní době na strojích Airbus 320, 330, 340 najdeme tzv. wingtip, což je varianta wingletů. Na některých strojích Boeing 747, 767, 777 a 787 najdeme tzv. raked wingtip, jejichž hlavní výhodou je další zlepšení ekonomického režimu letu i během stoupání, snížení vzdálenosti nutné ke vzletu. Raked wingtips pracují stejně jako winglety na principu snížení indukovaného odporu. Během testů NASA a Boeingu bylo zjištěno zlepšení o 4% oproti konvenčním wingletům. Ač větší rozpětí křidel u raked wingtips pomáhá ke zlepšení letových vlastností, uvažuje se u některých letadel Boeing 787 o nahrazení klasickými winglety, s kterým lze lépe manévrovat na zemi.





wingtip u letadla Airbus A319



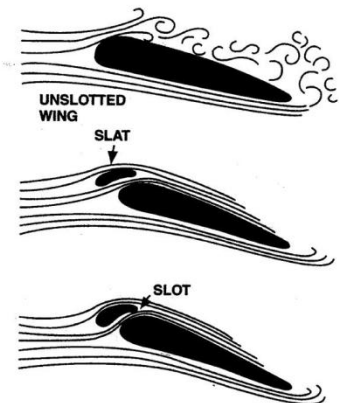
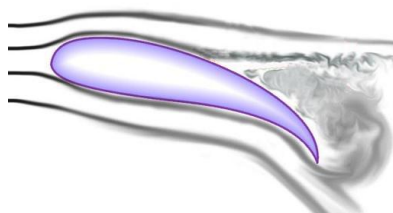
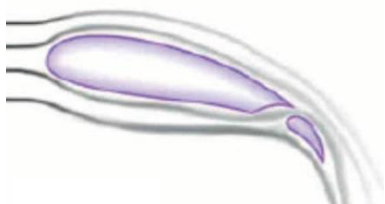
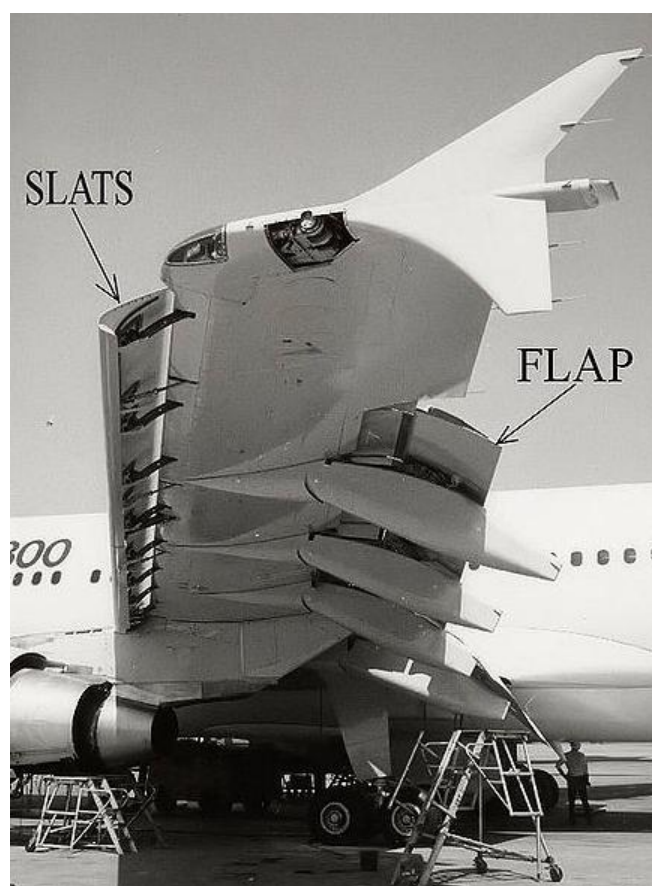
raked wingtips na letadlech Boeing 787 a Airbus A350

Sloty

Princip slotů (slats) spočívá v tom, že urychlují proud vzduchu v mezní vrstvě nad horní stranou profilu křídla přefukováním vzduchu ze spodní (přetlakové) strany a oddalují tak odtržení proudů do oblastí vyšších úhlů náběhu. V praxi se sloty používají u dopravních letadel jako prostředek ke zvýšení vztlaku. Díky slotům může letadlo letět pomaleji nebo vzlétnout a přistát na kratší vzdálenosti. Sloty jsou obvykle používány během přistání nebo manévrů, kdy je letadlo vedeno blízko pádové rychlosti.

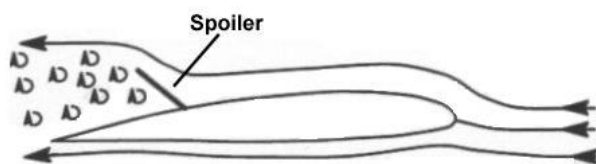
Vztlakové klapky

Vztlakové klapky (flaps) jsou nejstarším a nejrozšířenějším prostředkem ke zvyšování vztlaku. Základním principem všech vztlakových klapek je zvýšení zakřivení střední křivky profilu, které je provázeno zvýšením vztlaku a také zvýšením odporu (drag) a nárůstem záporného klopivého momentu. Platí, že s rostoucí výchylkou roste vztlak a odpor. Z těchto důvodů je obvyklá maximální výchylka klapky 30° - 40°, protože při větších výchylkách je výrazný nárůst odporu doprovázen malým ziskem vztlaku, používají se vyšší výchylky než 40° výjimečně u letadel, kde je požadován velký úhel přiblížení na přistání. Ovšem i u těchto letadel není výchylka překročena o více než 60°.



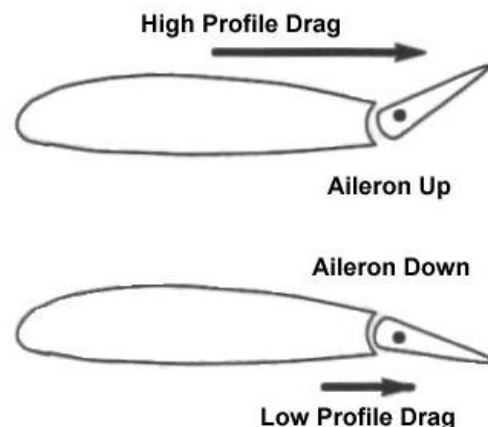
Spoilery

Vysoká aerodynamická jemnost letadla je vhodná při všech režimech letu, kromě poslední fáze – přistání. V průběhu přiblížení je nutné aerodynamickou jemnost zhoršit natolik, aby letadlo bylo schopné udržet ustálenou rychlost pod určitým úhlem. Po vysunutí vzniká za brzdícími klapkami úplav se silným turbulentním prouděním. Brzdící klapky snižují celkový vztlak a výrazně zvyšují odpor. Jejich užití je ovšem často limitováno tím, že díky turbulentním proudům za brzdícími klapkami vzniká hluk a vibrace, které mohou být pociťovány cestujícími a snižovat jejich komfort cestování. Spoilery jsou používány také na zemi, kde produkuje brzdící účinek po dosednutí – zmenšení vztlačkové síly působící na křídlo a její nahrazení silou tlačící více váhu letadla na podvozek, což ve výsledku znamená účinnější brzdění.



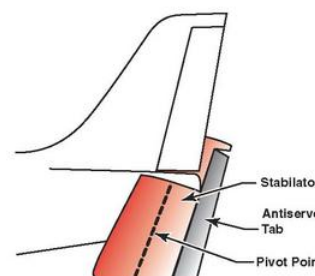
Křidélka

Křidélka (ailerons) jsou řídicí plochy spojené s odtokovou hranou křídla. Ovládají se vychylováním řízení do strany. Vychýlíme-li řízení doprava, pravé křidélko se zdvihne a levé naopak půjde dolů. Letadlo se začne naklánět doprava. Křidélko směřující dolů zvýší vztlak na křídle, kdežto druhé křidélko směřující nahoru způsobí ztrátu vztlaku na druhém křídle. V praxi se obě křidélka vychýlí každé o jiný úhel a to z důvodu, aby při vychýlení křidélek neměl nos letadla tendenci směřovat mimo (na druhou stranu) zamýšleného oblouku, a to z důvodu velkého indukovaného odporu na vnějším (bráno z profilu zatáčky) křídle, který produkuje více vztlaku.



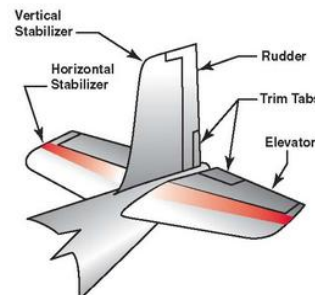
Výškovka

Výškovka (elevator) je řídicí plocha umístěná na zadní straně horizontálního stabilizátoru na každé straně trupu - ocasu. Její pohyb je nahoru a dolů. Pilot řídí tyto plochy přitažením nebo odtažením kniplu, což má za následek vychýlení stabilizátoru nahoru nebo dolů. Nahoru vychýlená výškovka způsobí pohyb ocasní plochy trupu směrem dolů a nos letadla směrem nahoru. Výsledným efektem je zvýšení vztlaku a také odporu. Některá letadla používají pohyblivý horizontální stabilizátor jako MD-80.



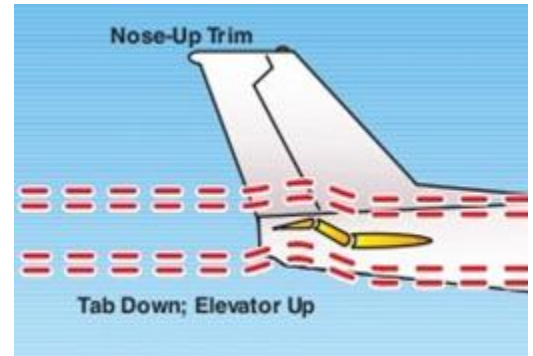
Směrovka

Směrovka (rudder) je řídicí plocha umístěná na zadní straně vertikálního stabilizátoru na ocasní ploše trupu. Je ovládána pedály, kdy pilot sešlápnutím pravého pedálu vychýlí plně směrovku doprava, sešlápnutím levého zas doleva. Při sešlápnutí a vychýlení směrovky se ocas letadla vychýlí do opačné strany, než se vychýlí nos letadla. Směrovka se používá při zatáčení letadla (ve vzduchu) nebo vyrovnání (vychýlení) letu letadla z důvodu bočního větru.



Trim

Trim je řídicí plocha umístěná na zadní straně směrovky a výškovky, kterou můžeme vychylovat. Pochopení fungování trimu je důležitou součástí pro létání. Pokud například chceme stoupat konstantní rychlostí, musíme stále přitahovat řízení k sobě, avšak když povolíme řízení, letadlo přestane stoupat, tudíž nutností je stále držet řízení přitažené k sobě. Místo toho najdeme polohu řízení takovou, kdy letadlo stoupá v námi požadované konstantní rychlosti stoupání, a pomocí trimu (malé řídicí plochy na konci výškovky) najdeme takovou polohu, kdy letadlo začne udržovat naše stoupání a samotné řízení bude v neutrální poloze. Ve výsledku tedy stoupáme a nemusíme tlačit na řízení. Trim najdeme i na ploše směrovky, kdy můžeme mít stále vychýlenou určitou polohu na úkor toho, že nemusíme mít stále sešlápnutý pedál.



Názvy os a pohybů letadla

Pohyb letadla se dělí na tři pohyby, které se pohybují okolo tří os. Každý pohyb má svojí osu otáčení. Tyto tři osy se protínají v bodě, který se nazývá střed gravitace neboli těžiště (Center of Gravity). Pilot musí být schopen ovládat pozici a směr každé z os.

- Svislá osa (vertical axis)

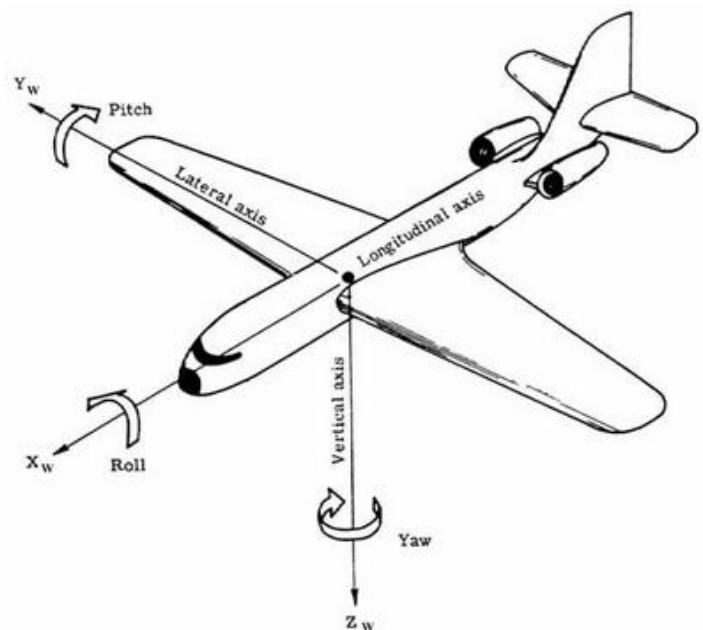
Pohyb kolem svislé osy se nazývá zatáčení (yaw), proto je často v angličtině tato osa pojmenována jako (yaw axis). Pohybem kolem svislé osy měníme vybočení nosu letadla doleva nebo doprava a měníme ho pomocí směrovky. Křídélka (aileron) mají sekundární efekt na pohyb kolem svislé osy, směrovka primární.

- Boční osa (lateral axis)

Pohyb kolem boční osy se nazývá klopení (pitch). Tímto pohybem měníme vertikální naklonění nosu letadla (nahoru nebo dolů) a měníme ho pomocí výškovky.

- Podélná osa (longitudinal axis)

Pohyb kolem této osy se nazývá klonění nebo valení (bank or roll). Kloněním měníme orientaci křídel letadla – jedno křídlo směřuje nahoru, druhé dolů. Pilot mění úhel klonění zvýšením vztlaku na jednom křídle a snížením vztlaku na druhém křídle. Primární pohyb je ovládán křídélky, sekundární efekt na pohyb kolem podélné osy má i směrovka.

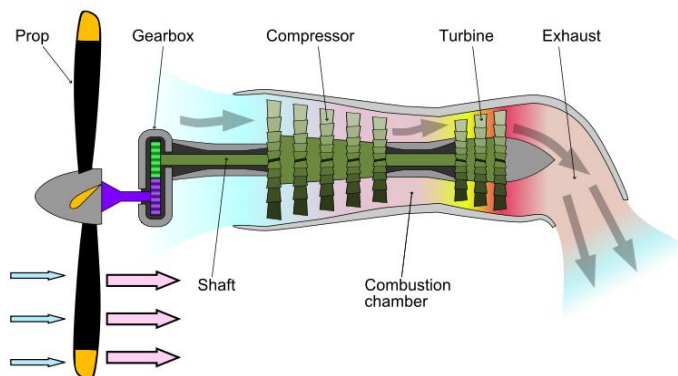


Pohon letadel

Letecké motory jsou jedinými částmi, které zajišťují samotný pohyb. Obvykle jsou umístěny v gondolách pod křídly a to v takové vzdálenosti od trupu, kde optimálně vyrovnávají moment hmotností křidel. Méně běžné motory jsou na zádi. Výhodou tohoto uspořádání je např. lepší aerodynamika křídla. Letecké motory dělíme na pístové a lopatkové. Pro nás jsou důležité hlavně lopatkové:

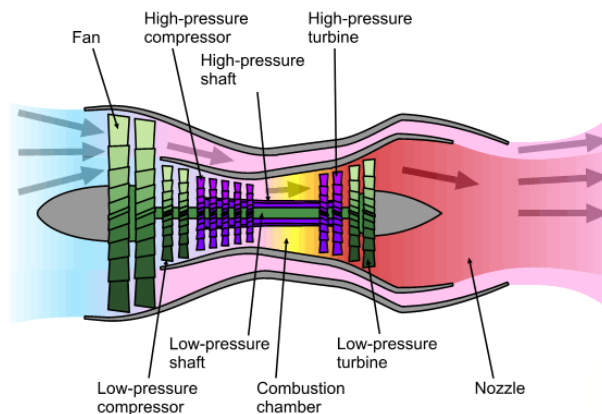
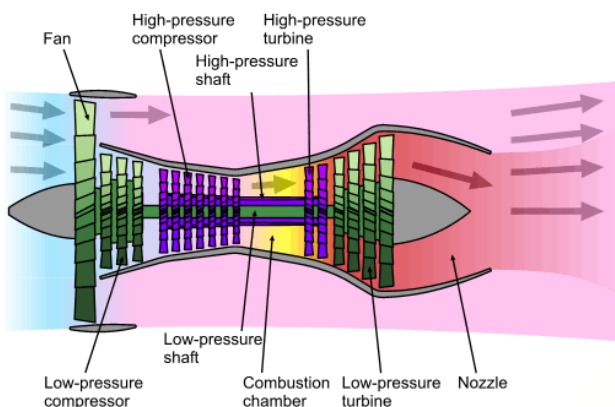
- Turbovrtulový motor

Turbovrtulový motor (turboprop) se dá považovat za hybrid vrtulového a proudového motoru. Turbovrtulový motor je turbínový motor, u něhož je užitečný mechanický výkon vyveden z motoru na hřídeli, kterým je přes reduktor poháněna vrtule. Tah motoru je vyvozován vrtulí, přičemž spaliny vystupující z motoru relativně nízkou rychlostí z výstupní trysky motoru působí přidavným tahem. Na rozdíl od proudového motoru, kde jsou hnací plyny dále v hnací trysce urychlovány, jsou vystupující spaliny z turbínového motoru zpomalovány ve výstupním difuzoru na rychlost mírně vyšší, než je cestovní rychlost letu.



- Proudový motor

Dvouproudový motor je jeden z leteckých motorů, který pracuje na podobném principu jako dvouproudový motor. Obsahuje navíc dmychadlo (ventilátor – fan), nízkotlaký kompresor, turbínu, která pohání kompresor i dmychadlo. Část plynů z dmychadla proudí přímo do motoru, zbytek ho obtéká, k tomu účelu slouží obtokový kanál, ve výstupní trysce se oba proudy smísí a tím je vyvolán tah. Smísení proudů také způsobí nižší teplotu výstupních plynů. Skrz dvouproudový motor také proudí více vzduchu, tím je rychlost výstupních plynů nižší, než u motorů jedнопroudových, tím jsou dvouproudové motory méně hlučné a mají nižší spotřebu. To je také důvod, proč jsou dnes téměř všechna dopravní letadla vybavena těmito motory. Vlevo je schéma dvouproudového motoru s částečným předním obtokem a velkým obtokovým poměrem, vpravo dvouproudový motor s celkovým obtokem a malým obtokovým poměrem.



Použitá literatura a obrázky

1. Wikipedie (wikipedia.org)
2. Učebnice pilota 2006
3. NASA (nasa.gov)
4. Učební texty ČVUT FD
5. Multimediální učebnice fyziky
6. Airline Word (airlineworld.wordpress.com)
7. Kiteboarding (kiteboarding.com)