

Petr Stejskal,
Modelklub Lipence

(Pokračování z RC revue 2/2003)

Zkušební zařízení

I když koupíme hotovou turbínu, je rozumné ji před montáží do modelu vyzkoušet na pozemním stojanu. Na stojanu se nacvičí zacházení s motorem, hlavně startování, ověří se jeho chování ve všech režimech, funkce mazací soustavy a nádrží.

Při startování dochází ke krátkodobému přehřátí a z trysky vychází plamen. Někdy je třeba navrhnout ochranu ocasních ploch plechovým krytem nebo plamen odvětvá nasuvnou trubkou za model. Pokud je v modelu prodlužovací trubka (tzn. že výstupní tryska není na konci trupu, nýbrž uvnitř, a proud plynů se odvádí speciální trubkou), je třeba vyzkoušet její funkci, vliv na tah a odolnost proti teplotě na stojanu.

Amatérsky postavenou turbínu je třeba zkoušet důkladněji. Lože turbíny bývá posuvné a vpředu se opírá o pružinovou váhu nebo siloměr. Ke zkouškám je potřeba tlakoměr s rozsahem do 1,5 baru pro měření tlaku ve spalovací komoře a termočlánekový teploměr do 1000 °C umístěný ve výstupní trysce. Dá se použít třeba takový, který bývá doplňkem některých elektronických multimetrů.

Dobře poslouží jednoduchý průtokoměr paliva, abychom turbínu při startu „neulili“. Otáčkoměr s rozsahem do 150 000 ot./min je také důležitý, vyžaduje instalaci infračervené na turbínu. Měření otáček se dá obejít měřením tlaku ve spalovací komoře a následným převodem podle grafu.

Na stojanu je nutné počítat s instalací odolného krytu pro zkoušky maximálních otáček. Používám ocelový válec z tlakové nádrže o průměru 25 cm a délce 30 cm, tloušťka

Průtokoměr paliva na zkušebním stojanu: Jednoduchý průtokoměr vznikl z plexisklové desky, do které je shora vyvrtána kuželová díra. Je vřazen před palivové čerpadlo. Palivo přichází odspodu a nadnáší hliníkový plovák úměrně velikosti průtoku. Měření usnadní první spuštění turbíny, kdy je potřeba ohlídat průtok asi 60 ml/min.



stěny je 6 mm; jeho odolnost jsem v praxi ještě naštěstí nevyzkoušel. Velmi praktické je „zpečné zrcátko“ umístěné tak, aby šlo sledovat z bezpečného úhlu dění v zadní části turbíny a ve spalovací komoře.

Před instalací do modelu vyzkoušíme turbínu na stojanu v krytu na vyšší otáčky, než budeme používat v praxi.

Turbína na testovacím stojanu: Vlevo ochranná ocelová trubka z tlakové nádrže, turbína připávaná kovovým páskem na pohyblivém loži, která tlačí na vpředu upevněnou váhu (měření tahu), v popředí položený spouštěč, za turbínou bomba na startovací plyn, nádrž na olej, tlakoměr tlaku v komoře a průtokoměr paliva. Na snímku není teploměr a otáčkoměr. V tomto stavu slouží zařízení dodnes.



Startbox

Létání s turbínovým modelem vyžaduje trochu jiné pozemní vybavení než při provozu modelu s pístovým motorem. Na první pohled asi zaujme velký kanystr na palivo – alespoň 10 l! Spotřeba 1 až 2 l na jeden let znamená, že kanystr se dá vyprázdnit za jedno odpoledne a před každou cestou na letiště je nutné jej doplnit.

Je vhodné nosit s sebou hasicí přístroj nebo ještě lépe dva (sněhové, CO₂). Přístroj by měl být v pohotovosti, ne přivázaný ke startboxu nebo umístěný v autě. Nejpravděpodobněji se použije po nouzovém přistání modelu s hořícím motorem. Láhev s propan-butanem stačí malá kempinková, například „modrá CV 407“, opatřená ovládacím ventilem a hadicí.

Pro dobíjení letové baterie je třeba rychlonabíječ a 12V akumulátor.

Startbox pro turbínu: Dole je autoakumulátor, vedle dva hasicí přístroje (druhý nahoře). Celek měl hmotnost asi 40 kg. Kanystr na palivo a olej nebyly součástí startboxu.



Běžný je zdroj zhavicího proudu, tankovací čerpadlo odolné proti dlouhodobému působení kerosinu, různé běžné nářadí. Podle způsobu roztáčení turbíny bude startbox obsahovat potřebné vybavení: Láhev se stlačeným vzduchem, elektrický spouštěč nebo větrák s regulátorem.

Výběr modelu a stavební technologie

Cvičný model je nejlepší třítupý, u kterého výstupní tryska ústí do volného prostoru, případně delta

s motorem nahoře. Volíme raději větší rozpětí, kolem 180 cm. Menší plošné zatížení dává možnost bezproblémového nouzového přistání při zastaveném motoru. Při instalaci motoru nahoře nevadí přistání s hořícím motorem například při zadření ložiska.

Stavební materiály stačí běžné, křídlo balzové s polystyrenovým jádrem. Trup, který není tepelně namáhán, může být i balzový s plechovou ochranou proti teplu za motorem. Pozor na kerosin, leptá pěnový polystyren a některé potahové fólie!

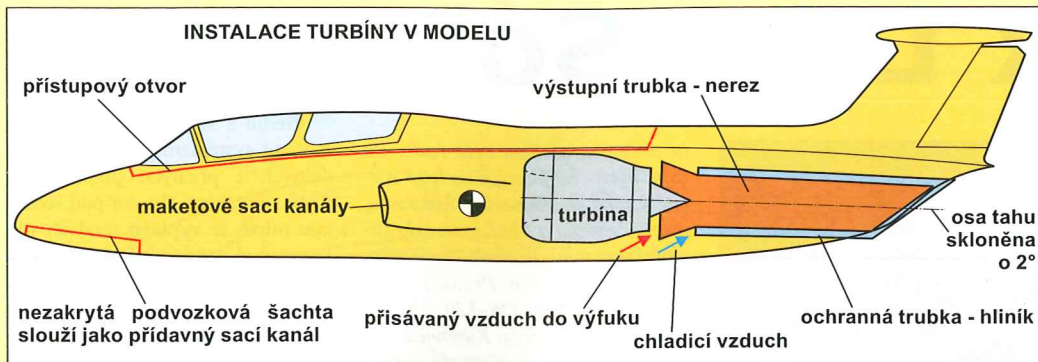
I výborný pilot by měl začínat nejdříve výše popsáním modelem, maketu či polomaketu s motorem v trupu je rozumné nechat raději zatím odpočívat, a to i v případě, že jde o turbínu koupenou, hotovou. Každý, kdo u nás létá s turbínou, tento postup doporučuje.

Při stavbě makety s motorem v trupu nelze v žádném případě doporučit balzovou konstrukci trupu. Odkápnutí hořícího kerosinu při nešetřném spuštění nebo šlehnutí plynu by způsobilo okamžitý požár. Nouzové přistání do oranice po zastavení motoru také většinou balzový trup nepřežije. Ideální je laminát z epoxidové pryskyřice, který nehoří, nešetřit na tloušťce stěn a rozumně volit montážní otvory, aby konstrukce nebyla zeslabena.

Zadní část trupu, která je tepelně namáhána, je dobré pevnostně předimenzovat, protože pryskyřice s ros-

Startbox novější verze už dole neobsahuje autoakumulátor, zato kanystr na palivo a olej. Akumulátor je gelový 7 Ah, nahoře regulátor žhavení, regulátor na spuštění, regulátor čerpadla, plynová bombička, startovací větrák a digitální nabíječ vlastní konstrukce.





První verze cvičného modelu z léta 1997. O tři roky později model havaroval poté, co neupevněný feritový kroužek předřel servokabel k jednomu křídélku.

toucí teplotou měkne! Při dimenzování nosných prvků konstrukce, závěsů kormidel i serv se musí počítat s podstatně větším namáháním,

Upevnění turbíny Jet Cat na delta modelu od firmy Graupner. Díky zapuštění motor není opticky vně trupu, přístupnost, sání motoru z horní strany a ústí trysky za model zůstalo zachováno.



protože model bude dosahovat velkých rychlostí, orientačně až kolem 200 km/h.

Naproti tomu se turbíny vyznačují klidným chodem bez vibrací, jediné lehké chvění způsobují plyny proudící výstupní trubkou, kde se míchají s přisávaným studeným vzduchem. Turbína se montuje obvykle dvěma plechovými pásky do dřevěného nebo laminátového lože (povrchová teplota se pohybuje okolo 100 °C) nebo za čelní část na trupovou přepážku, která ale musí být průchodná pro chladicí vzduch.

Jeden z amatérských modelů má celý povrch pokryt plechem.



Za turbínou v trupu následuje s malou mezerou dvojitá výstupní trubka, vnitřní část je z nerezové oceli tloušťky 0,1 až

se používá mřížka pro odstranění hrubých nečistot.

U turbíny instalované uvnitř trupu je nutné počítat se ztrátou tahu až 20 %. Turbína potřebuje ke své čin-



Druhá verze cvičného stroje postavená narychlo s využitím zachovalých částí jeho předchůdce. Rozpětí 1700 mm a hmotnost 5 kg mu umožňovaly dobré letové vlastnosti, svislý stoupavý let i snadné přistání kluzem se zastavenou turbínou. Ocasní plochy byly při startu chráněny krytem z plechu.

Konec dvojitě výstupní trubky, kroužek asi 1 cm široký ze zvlněného nerez udrží izolaci vzduchovou mezeru mezi výstupem horkých plynů a další izolační vrstvou z hliníkového plechu, kolem je laminátový trup.



Vnitřní trubka je v zadní části o něco kratší, což způsobuje ejektorový efekt a odsávání vzduchu z izolační mezery. Jen takto provedená trubka s rychlým prouděním vzduchu mezi plechy chrání trup před zárem při provozu a hlavně při spuštění.

Přívod vzduchu k turbíně je vhodné řešit kanály jako u skutečného letadla, stoupne účinnost pohonu a zabrání se nasávání nečistot, například podvozkovými šachtami. Také

nosti dostatek vzduchu, okolo 150 l/s! Hodně vzduchu je také třeba k povrchovému chlazení a ke směšování ve výstupní trubce. Velký vliv na úbytek tahu má velikost sacích kanálů modelu, zde jsou ve výhodě makety nadzvukových letadel před staršími typy, jako je například Delfin. Rozměry sacích otvorů se zpravidla proti předloze zvětšují.

Instalace

Elektronické vybavení má také drobné odlišnosti

od modelu s běžným pístovým motorem. Kabeláž, která vede do zadní (horké) části trupu, by měla být z vodičů se silikonovou nebo teflonovou izolací.

Je třeba dodržovat prostorové oddělení řídicí části RC soupravy od turbínového regulátoru, akumulátorů čerpadla, související kabeláže a čerpadla. Vyplatí se použít feritové kroužky na kabelech serv a větší drátovou nebo prutovou anténu pro přijímač (která je co nejvíce vzdálená zdrojům rušení v modelu).

V přídi modelu bývá obvykle přijímačová baterie a přijímač, kabely dozađu k servům vedou například po pravé straně trupu, s odstupem je při levé straně trupu uložena baterie čerpadla, regulátor a čerpadlo. Přijímač a regulátor je dobré krom obvyklého molitanu uložít ještě do zvláštních krabiček zvenku chráněných hliníkovým plechem – zlepši se odolnost proti rušení a zvýší se i ochrana drahých částí v případě požáru.

Spolehlivost řízení je možné zlepšit stejně jako u obřích maket zdvojením letové RC části (dva přijímače, dvě baterie).

Palivová instalace v modelu musí být z materiálů odolávajících ke-

rosinu – naprosto nevhodující jsou hadičky z měkčeného PVC (tvrdnou) a silikonu (nabobtnávají a praskají). Pro ohebné vedení se používají benzinové hadičky do motorových pítl nebo do velkých modelářských motorů, na ostatní instalaci stačí polypropylenové hadičky pro pneumatické rozvody o průměru 3 a 4 mm, například od firmy Festo. Tato firma dodává i vynikající rychlospojky, ventily a jiné drobnosti.

(Pokračování)

Rychlospojky a šroubení Festo spojují turbínu s instalací v letadle, žhavicí svíčka, připojení plynu se zpětným ventilem (červená hadička je palivo, modrá vzduch na tlakování oleje, černá olej do motoru, stříbrná vývodka přivádí plyn na startování)





Přední podvozková noha: Šedá část je svařena z oceli, kyvná vidlice vyříznuta z duralového plechu. Je vidět polyuretanovou pružnici a tlumicí pěnu i rozebranou pneumatickou brzdou s O-kroužkem.

(Pokračování ze strany 43)

jsou doplněné tlumiči například z modelů aut, nejsou vhodné. Pro létání z trávy je třeba podvozek s co největším rozvorem a hlavními koly více za těžištěm, než se běžně doporučuje, jinak model při startu silně odskakuje.

Pro provoz na asfaltu jsou dobrá brzděná kola, protože při volnoběžném tahu okolo 5 N má nebrzděný model po přistání velmi dlouhý dojezd nebo vůbec nezastaví. Nejčastější jsou vzduchové brzdy, kdy se uvnitř disku kola tlakem roztahuje gumová hadička nebo O-kroužek. Elektromagnetické brzdy jsou zpravidla málo účinné.

Způsob létání

Jakmile je turbína vyzkoušena na pozemním stojanu, vydrží několikaminutový chod na plný plyn, má spolehlivé přechody otáček a volnoběh, to vše při teplotách výstupních plynů podle doporučení výrobce nebo konstruktéra, a za chodu není postřehnutelné chvění, může se uvažovat o její instalaci do cvičného modelu.

Pokud je turbína stavěná doma, je dobré ji po zkouškách rozebrat a zkontrolovat stav ložisek a spalovací komory s odpařovacími trubicemi i ostatních namáhaných dílů.

Pro první lety je vhodné nejlépe asfaltové záložní vojenské letiště. Vyhne se blízkosti budov, lesa nebo zralého obilí, kde by mohl havarovaný (hořící) model způsobit značnou škodu. Před letem je třeba zkontrolovat dosah RC soupravy se zkrácenou anténou vysílače při běžícím motoru, neboť procesorový regulátor a rotující díly mohou být zdrojem rušení.

provádět nízké průlety a přízemní akrobacii.

Odlišností od pístových motorů je výrazně zpožděná reakce na plynovou páku nejen při akceleraci, ale i deceleraci. Rozběh motoru z volnoběhu trvá nejméně dvě sekundy, obvykle ale kolem pěti a více.

Je možné dosáhnout vysokých rychlostí, schopnost motoru táhnout s rychlostí neklesá, naopak v některých režimech letu roste, protože tlak vzduchu za letu usnadňuje sání a dochází k efektu přepřehování motoru, který má na zemi spíše tendenci se „dusit“.

Zbytkový tah při volnoběhu je podstatně větší než u vrtulových modelů a vadí lehkým a aerodynamicky čistým letounům při přistání. Pomohou aerodynamické brzdy i brzdy na podvozku. Také je třeba počítat s kratší dobou letu, nádrž o objemu 1 litr stačí bez rezervy na 4 minuty letu s jednodominutovým pojižděním před startem.

Většina turbín vyžaduje po vypnutí ochlazení – profukování vzduchem, dokud se uvnitř roz-

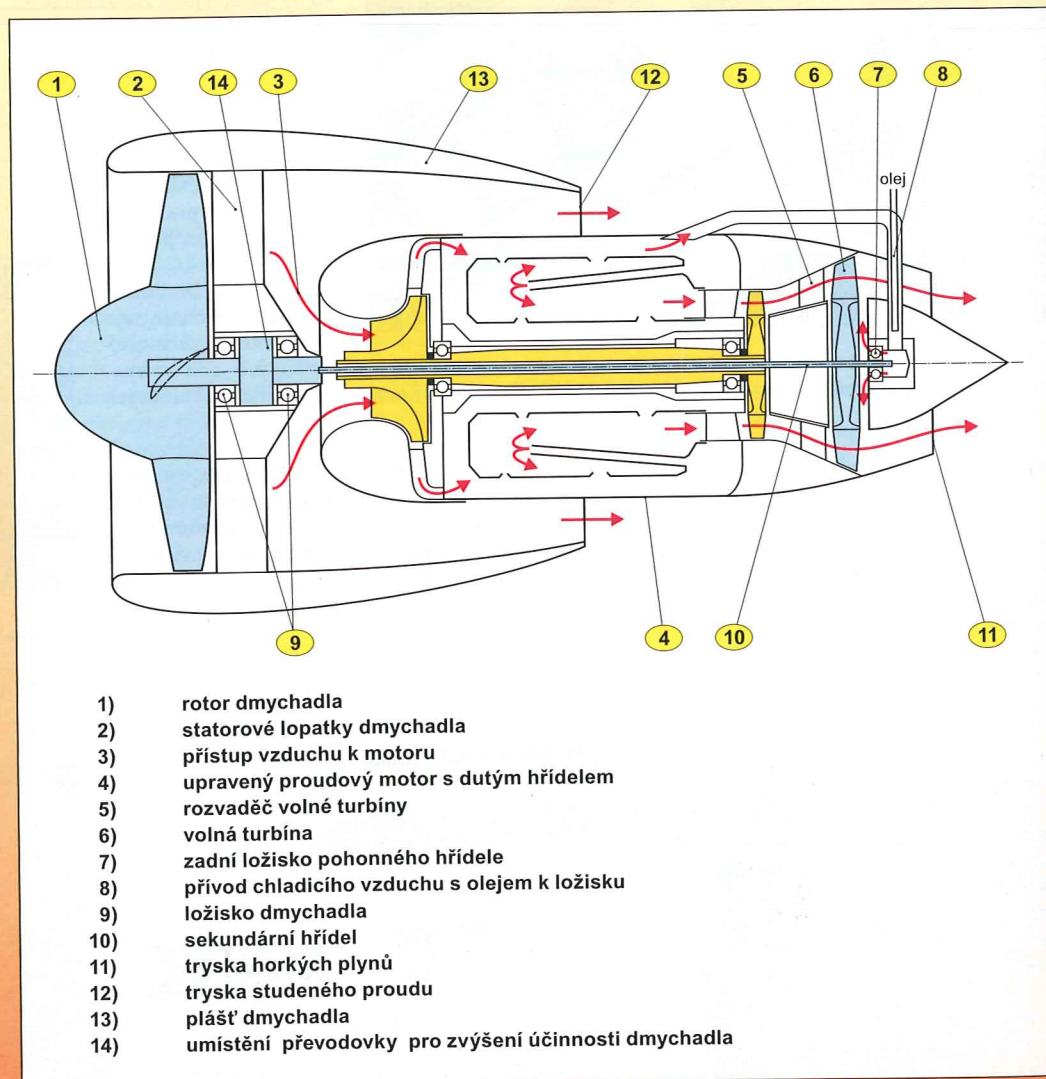
žhavené části neochladí na rozumnou teplotu. Proto je třeba po přistání zajet ke startovacímu boxu. U cvičných modelů s menším plošným zatížením je výhodné vypínat motor ve výšce, dochladí se při sestupu kluzem a při případné havárii nehrozí požár. Moderní turbíny vybavené elektrickým spouštěčem a automatikou se dochlazují samy.

Budoucnost turbínového pohonu v modelářství

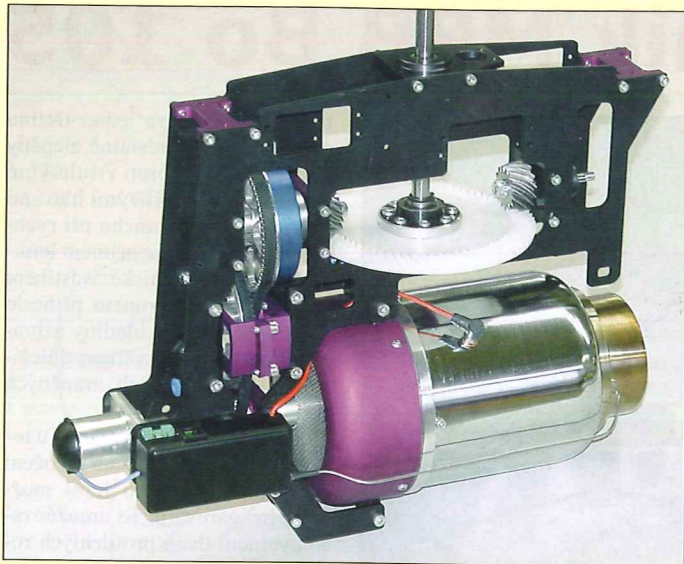
Současná konstrukce turbín je dost ustálená, jednotlivé výrobky se liší velikostí a výkonem při dost podobné účinnosti. Účinnost je poměrně malá, a tudíž je vysoká spotřeba paliva, krátká doba letu a velké nádrže. Řešením by byl dvouproudový motor podobný těm, které pohánějí moderní dopravní letadla. Ten by mohl mít při stejné spotřebě paliva dvojnásobný tah a nižší teplotu výstupních plynů.

Dvouproudový motor se skládá ze spalovací turbíny, která má za

Schematický náčrt dvouproudového motoru.



- 1) rotor dmyhadla
- 2) statorové lopatky dmyhadla
- 3) přístup vzduchu k motoru
- 4) upravený proudový motor s dutým hřídelem
- 5) rozvaděč volné turbíny
- 6) volná turbína
- 7) zadní ložisko pohonného hřídele
- 8) přívod chladicího vzduchu s olejem k ložisku
- 9) ložisko dmyhadla
- 10) sekundární hřídel
- 11) tryska horkých plynů
- 12) tryska studeného proudu
- 13) plášť dmyhadla
- 14) umístění převodovky pro zvýšení účinnosti dmyhadla



Heli turbína.

výstupní tryskou ještě jednu tzv. volnou turbínu. Ta odebírá část energie vystupujícím plynům a v podobě mechanického výkonu ji předává (přes sekundární hřídel) na vpředu umístěné dmychadlo. Dmychadlo vytváří druhý – studený – proud, který zvyšuje statický tah celé jednotky. Protože se urychluje větší množství vzduchu na menší rychlost, vzroste účinnost pohonu.

Objevují se i první turbohřídelové jednotky k pohonu modelů vrtulníků nebo turbovrtulových letadel, což zvyšuje realitu těchto modelů.

Stavět či koupit?

Pokud chceme turbínu k létání a vlastní stavba nás příliš nezajímá,

Nebezpečnost provozu

Mnoho již napovídá předchozí text. Největší nebezpečí představuje velké množství paliva v nádržích modelu a současně vysoká provozní teplota uvnitř motoru. K tomu je třeba přihlížet při výběru letové plochy.

Další teoretické nebezpečí hrozí při překročení provozních otáček, kdy se může roztrhnout turbínové kolo. Proto je dobré při amatérské stavbě nešetřit na materiálu v oblasti pláště turbínového kola. Někteří výrobci prodávají speciální ochranné prstence z kevlaru, které se montují zvenku na zadní část turbíny. V prostoru přibližně 10m okolo modelu s běžící turbínou by se neměli vyskytovat diváci, ale to platí v podstatě i o modelech s pístovým motorem



Reverzační tryska.

s vrtulí. Nejnebezpečnější je prostor po stranách letadla v rovině otáčení turbíny a za výfukovou tryskou.

Hlučnost

Při provozu turbín s tahem do 50 N je hluk překvapivě nízký, až jsou problémy se sledováním chodu motoru u modelu letícího ve větší vzdálenosti. Když běží turbína na větší výkon, je zvuk podobný skutečnému tryskovému letadlu, ale má menší intenzitu. Tento druh hluku je pro okolní obyvatele letiště většinou podstatně přijatelnější než ječení modelářských motorů malých kuba-tur.

Závěr

Modelářské spalovací turbíny prodávající v poslední době bouřlivý rozvoj, neustále se objevují nové informace a technická řešení. Protože je to asi nejsložitější modelářský pohon a tudíž i nejdražší, nedejde zřejmě v nejbližší době k jeho masovému rozšíření, ale své místo si mezi odborníky udrží podobně jako například RC vrtulníky.

Když jsem před léty s turbínou začínal, stavěly se jednoduché turbíny o tahu okolo 20 N, k jejichž výrobě nebylo potřeba složité vybavení, keramická ložiska či řídicí procesorová jednotka a při provozu mimo oblast dovolených otáček nehrozilo roztržení turbínového kola.

Vývoj šel dál, a tak postavit si doma moderní, výkonnou turbínu již není práce pro jednotlivého amatéra. Pokud se vůbec povede ji dokončit, tak po spočítání vynaloženého času zjistíme, že by se vyplatilo koupit hotový výrobek od renomované firmy.

Pokud se ale o turbíny zajímáme a chceme odhalovat taje jejich funkce, tak se po prostudování nabídky prodeje hotových součástí na internetu a zakoupení některých těžko amatérsky zhotovitelných dílů (turbínové a kompresorové kolo) můžeme do stavby pustit. Stejně je možné zhotovit si amatérsky turbínu podle současné dokumentace z běžně dostupných materiálů (turbínové kolo se dá obrobřit z kvalitního žárupevného plechu a kompresorové z vyraženého turbodmychadla) a provozovat ji na menší výkon (do 40 N), kdy součásti nejsou tak namáhány.

Případně zájemce o další informace mohou odkázat na internetové stránky našeho klubu www.lipence.fbi.cz, kde naleznou mj. odkazy na zajímavé internetové stránky věnující se problematice turbín, nebo k návštěvě klubových schůzek MK Lipence každou středu, v létě na Lipeneckém letišti, v zimě v naší klubovně.



Jet Cat od firmy Graupner.

Konstrukčně je takový motor samozřejmě složitější. Musí se vyřešit mazání a chlazení zadního ložiska, uložení dlouhého a tenkého sekundárního hřídele, roztačení primárního hřídele při spuštění.

Další zlepšení účinnosti by znamenalo vřazení převodovky (do pomalu) mezi volnou turbínu a dmychadlo, stejně jako u motorů velkých dopravních letadel.

Dvouproudový motor například postavil K. Schreckling, autor v našem seriálu již zmíněné knihy Das Turboproptriebwerk für Modelle im Seltbau.

má, i za předpokladu, kdy máme potřebné strojní a technologické zázemí, raději turbínu koupíme. Ušetříme tím čas i peníze. Na amatérskou stavbu turbín je třeba se dívat jako na zvláštní druh modelářství, stejně jako na konstrukci speciálních pístových motorů.

I když koupíme osvědčené výkresy, je nutné mít nebo postupně získat mnoho znalostí, které v běžné modelářské činnosti ani neuplatníme. O to krásnější je ale potom pocit, když po obloze řídíte model poháněný vlastnoručně zhotovenou turbínou.

