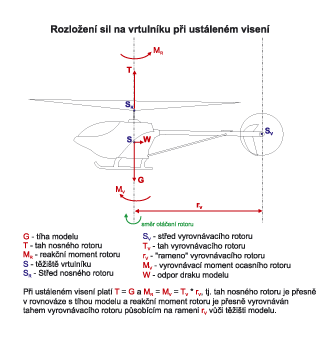
**Modely Vrtulníků**

Modely vrtulníků vznikaly pravděpodobně již od samých počátků historie letectví a leteckého modelářství; doloženy jsou již ve 14. století v Číně - mnohem mnohem dříve, než v roce 1939 ve Spojených státech vzlétl první plně řiditelný vrtulník v dnešním slova smyslu, Sikorsky VS-300. Vždy šlo o volně létající modely, většinou s pohonem gumovým svazkem. Dálkově ovládaným modelům se začalo dařit až na sklonku 60. let, v době, kdy byly k dispozici spolehlivé a výkonné spalovací motory s žhavící svíčkou a především vícekanálové proporcionální RC soupravy, bez nichž si nelze řízení vrtulníku představit. Zatímco v roce 1968 stačil na první soutěži jednomu z průkopníků, legendárnímu Ing. Schlüterovi, k vítězství skok ve stylu bratří Wrightů do výše dvou metrů s třívteřinovým visením, v dnešní době si můžeme vybírat z obrovské nabídky modelů, které umějí mnohem více, než skutečné vrtulníky. Od miniaturních pokojových "prcků" až po modely s průměrem nosného rotoru přes dva metry schopné nosit třeba filmovou kameru, modely s pohonem elektrickým nebo spalovacím motorem, modely se zjednodušeným ovládáním pro každého rekreačního letce, modely pro klasickou i extrémní 3D akrobacii, makety...

Na rozdíl od modelů letadel, kde i přes ARF "epidemii" stále vzniká slušná část modelů dle plánků z "ničeho", z balsových prkének a smrkových nosníků, je stavba vrtulníku prakticky výhradně založena na stavebnicích obsahujících hotové díly. Je to samozřejmě dáno daleko vyšší náročností, protože ještě ve větší míře než modely aut jsou vrtulníky mistrovskými díly jemné mechaniky - a strojní vybavení, materiály a vědomosti potřebné pro jejich zhotovení přesahují možnosti prakticky všech modelářů.

**Jak vrtulník létá a jak se řídí ?**

To je poměrně hodně složitý problém, a i když si vrtulník do svého skicáře maloval už mistr Leonardo da Vinci, trvalo ještě celá staletí - až do počátku třicátých let minulého století, než byly odhaleny všechny zákonitosti, jimiž se let prostředku s rotujícími nosnými plochami řídí, a než byla vynalezena všechna "udělátka", která dovolují stabilní let a spolehlivé ovládání. Skoro deset let ještě trvalo, než Igora Sikorského napadlo všechny doposud známé vynálezy (cyklické řízení, kolektivní řízení, výkyvné zavěšení rotorových listů ve všech osách, vyrovnávací rotor, autorotace atd.) použít na jednom stroji a dokázal je navzájem sladit.a dalších 30 let trvalo, než byla tato technika zvládnuta v modelovém měřítku. Oproti letadlům je problematika stabilního letu a řízení mnohem komplikovanější, jednotlivé prvky řízení se navzájem mnohem více ovlivňují a jejich koordinace je složitější.

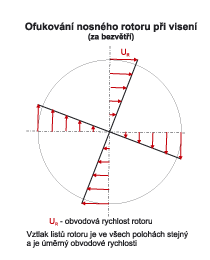
V následujícím textu se pokusíme "populárně-vědeckou" formou přiblížit základní principy fungování vrtulníků. Nemusíte se bát, jako vždy si vystačíme bez matematiky a vzorců, bude to jen chtít trochu představivosti a oprášit vzpomínky na školní fyziku a vektorové skládání sil...na procvičení vašich jazykových znalostí přidáváme i základní pojmy v angličtině...

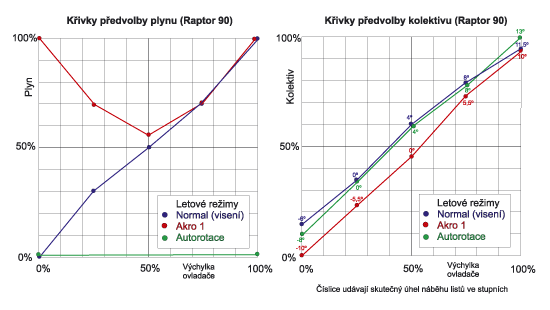
**Nosný a vyrovnávací rotor**

Vztlak potřebný k letu vzniká na listech nosného rotoru (main rotor), které vlastně představují křídlo s vhodným profilem o malé hloubce, otáčející se okolo osy s určitým úhlem náběhu. Díky tomu, že se listy rotoru vůči okolnímu prostředí pohybují větší rychlostí, než křídlo běžného letadla, může být jejich plocha značně menší. Zatímco křídlo letadla je po celém rozpětí obtékáno v zásadě stejnou rychlostí, u vrtulníku je to mnohem komplikovanější: list nosného rotoru je na konci obtékán mnohonásobně vyšší rychlostí než u kořene (např. u běžného modelu Raptor 30 s rotorem o průměru 1245 mm se špičky pohybují asi 16-krát vyšší rychlostí než kořen listu). Maximální rychlost otáčení rotoru je omezena tím, že rychlost jeho konců se nesmí blížit k rychlosti zvuku (obvykle se uvádí limit 0,7 kritického Machova čísla).

Tím, jak se rotor upevněný na hřídeli a poháněný motorem uloženým v trupu, otáčí, vyvolává reakční moment, který se snaží otáčet trupem proti smyslu otáčení rotoru, a jehož velikost je úměrná rychlosti otáčení rotoru. Tento moment je třeba neustále korigovat - buď použitím dvou protiběžných nosných rotorů, jejichž reakční momenty se budou navzájem vyrovnávat, nebo pomocí vyrovnávacího rotoru (tail rotor) neseného na ocasním nosníku (tail boom) a otáčejícího se kolmo na rovinu nosného rotoru. Protože dva rotory - ať už souosé, umístěné vedle sebe, za sebou nebo prolínající se - jsou mechanicky komplikované, nejvíce se rozšířilo klasické jednorotorové uspořádání s vyrovnávacím rotorem, jaké měl už zmiňovaný první Sikorského vrtulník. Vzhledem k tomu, že se velikost reakčního momentu mění v závislosti na otáčkách nosného rotoru, musí být ovladatelný i tah vyrovnávacího rotoru. Toho je dosahováno pomocí proměnlivého nastavování úhlu náběhu jeho listů (mechanismus nastavování je zjednodušenou variantou desky cykliky - viz dále). Vyrovnávací rotor slouží nejen ke kompenzaci reakčního momentu, ale také má funkci směrovky - ovládá bočení (yaw) tj. otáčení vrtulníku okolo svislé osy. Vyrovnávací rotor je poháněn náhonem od motoru pohánějícího nosný rotor (u modelů torzní tyčí nebo ozubeným řemínkem); znamená to také, že pokud se změní výkon odebíraný pro vyrovnávací rotor, poněkud se změní i otáčky nosného rotoru. Řídící systém vrtulníku proto musí počítat nejen s kompenzací reakčního momentu nosného rotoru (v modelu ji zpravidla provádíme elektronicky pomocí tzv. revo-mixu, mixu kolektiv->vyrovnávací rotor), ale i opačně s kompenzací vlivu změny výkonu odebíraného pro činnost vyrovnávacího rotoru.

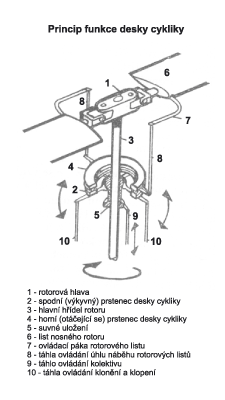
**Kolektivní řízení**

Vrtulník běžně startuje a přistává svisle. Změny vztlaku rotoru je možno dosáhnout buď zvýšením nebo snížením otáček (což ale vyžaduje odpovídající kompenzaci změny reakčního momentu), nebo při víceméně stálých otáčkách rotoru souhlasnou změnou úhlu nastavení listů otočně upevněných na ose. Druhému způsobu se v praxi dává přednost - nazývá se kolektivní řízení, krátce kolektiv (collective pitch). Vzhledem k tomu, že pro otáčení rotoru s listy s větším úhlem náběhu je třeba vyšší výkon motoru, než pro otáčení rotoru stejnou rychlostí s listy s menším úhlem náběhu, musí být se změnou nastavení kolektivu sladěno i ovládání otáček motoru. Ve skutečném vrtulníku s klasickým řízením je kolektiv řízen pákou, která má otočnou rukojeť, jíž se ovládá plyn a "mixování" provádí pilot ručně. V modelářské praxi se kolektiv i plyn ovládají stejným ovladačem, prostřednictvím elektronických mixů, které určité poloze páky ovladače přisuzují individuálně naprogramovatelné polohy serv plynu a kolektivu. Hovoříme o křivkách předvolby plynu (throttle curve) a předvolby kolektivu (collective pitch curve) - ty určují průběh otáček motoru a nastavení kolektivu. Vzhledem ke složitosti řízených procesů se dává přednost tomu, aby byl průběh křivek nastavitelný ve více bodech - běžné jsou pětibodové křivky, které již postačují k velmi dobrému sladění kolektivu a plynu. Aby bylo možno maximálně využít rozsah pohybu ovladače kolektivu/plynu a bylo zajištěno optimální sladění v různých letových situacích, u současných modelů vrtulníků a RC souprav pro jejich řízení se rozsáhle využívá tzv. letových režimů (flight mode, flight phase).



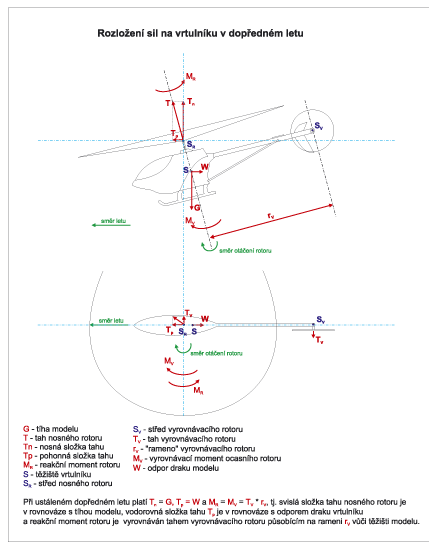
Letové režimy jsou vlastně další paměti přepínané jedním nebo dvěma přepínači, které obsahují odlišné nastavení modelu přizpůsobené pro jednotlivé fáze letu. Např. pro visení vychází křivka předvolby plynu z nuly (resp. z polohy odpovídající bezpečnému volnoběhu), aby bylo možno plynule vzlétnout nebo přistát. Je naprogramována tak, aby vrtulník stabilně visel, pokud je ovladač kolektivu/plynu přesně v polovině dráhy. V této oblasti je zpravidla křivka méně strmá (při pohybu ovladače se otáčky mění relativně méně), aby byl umožněn plynulý přechod do dalších letových režimů a naopak. V letových režimech pro dopředný let (akrobacii) nejnižší bod křivky předvolby plynu (ovladač je ve středu) vždy odpovídá otáčkám, při nichž vrtulník spolehlivě visí. U vrtulníku, který létá akrobacii na zádech, v příslušném letovém režimu křivka předvolby kolektivu umožňuje souměrné nastavení do kladných i záporných hodnot. Křivka předvolby plynu má podobu písmene "V" - takže ať vychylujete páku kolektivu/plynu od středu směrem ke kladným nebo záporným hodnotám úhlu náběhu listů, vždy současně přidáváte plyn.

**Cyklické řízení**

Pro vrtulník je charakteristická schopnost letět vpřed i vzad a do stran - vlevo i vpravo. Dosahuje se toho prostřednictvím naklánění roviny nosného rotoru. Pokud se rotor otáčí přesně ve vodorovné rovině, působí vztlaková síla pouze ve svislém směru. Jakmile se rovina rotoru vychýlí, zjistíme, že působící síla se rozkládá na dvě složky - svislou a vodorovnou. A právě ta vodorovná složka má dle zákona akce a reakce za následek pohyb vrtulníku v opačném směru. Aby bylo možno měnit rovinu otáčení rotoru, musela by se vychylovat celá pohonná hřídel i s rotorem - což je zjevně těžko realizovatelné - nebo je třeba periodicky a nesouhlasně měnit úhel náběhu listů tak, aby se na jedné straně zvětšením úhlu náběhu a s tím souvisejícím zvýšením vztlaku listy zvedaly vzhůru a na opačné straně zmenšením úhlu náběhu a snížením vztlaku vychylovaly dolů (tomu se také říká křidélkování). Konec listu se potom pohybuje po křivce - sinusoidě - nahoru a dolů. To samozřejmě vyžaduje, aby listy nosného rotoru byly nejen otočné okolo podélné osy, ale byly také zavěšeny výkyvně ve svislé ose. U skutečných vrtulníků je rotorový list upevněn na kloubovém závěsu (s dorazy) nebo se - stejně jako u modelů - používá závěs polotuhý, kdy je výkyv umožněn pružností závěsu nebo deformací pružných členů zařazených v závěsu. Polotuhý závěs je základní podmínkou pro to, aby vrtulník mohl zalétnout přemet.

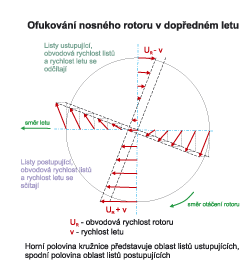
Pro periodické ovládání úhlu náběhu listů otáčejícího se nosného rotoru - tzv. cyklické řízení - slouží geniálně jednoduchý vynález nazývaný deska cykliky (swashplate). Je tvořena dvěma prstenci navlečenými na hřídeli nosného rotoru - spodní (vnější) prstenec se neotáčí, ale táhly jsou na něj přenášeny pohyby cyklického řízení (v modelu serv klonění a klopení). Horní (vnitřní) prstenec přejímá prostřednictvím čepů pohybujících se v drážce na obvodu spodního (vnějšího) prstence jeho výchylky (naklánění) a zároveň se otáčí spolu s hřídelí rotoru. Z horního (vnitřního) prstence vedou táhla dále k ovládání rotorové hlavy. Klonění (roll) je u vrtulníku obdobou křidélek a slouží k naklánění a pohybu vrtulníku do stran. Klopení (pitch-axis) odpovídá funkci výškovky a řídí se jím naklánění a pohyb vrtulníku vpřed a vzad. Pokud má vrtulník i kolektivní řízení, je deska cykliky na hřídeli rotoru uložena suvně a systém ovládání kolektivu ji jako celek posouvá nahoru a dolů.

Toto rozdělení funkcí mezi tři serva platí pro klasické uspořádání řízení s mechanickým mixováním (nazývá se také někdy H1), kde poměry výchylek jednotlivých řídících funkcí jsou pevně dány uspořádáním ovládacích úhlových pák. Současné RC soupravy umožňují mixovat základní funkce elektronicky - tomuto způsobu se říká CCPM (Cyclic Collective-Pitch Mixing). Deska cykliky je potom ovládána trojicí nebo čtveřicí serv rozmístěných po obvodu (systémů rozmístění je více). Pohyb pák serv je kombinací pohybů pro ovládání kolektivu a cykliky - současně se pohybují nahoru a dolů dle povelů kolektivního řízení a diferencovaně dle povelů cyklického řízení.

Na přechodu vrtulníku z visení do dopředného letu lze dobře ukázat komplexnost řízení vrtulníku. Jestliže vrtulník stabilně visí, je vztlaková síla vyvozovaná rotorem právě taková, aby vyrovnala tíhu modelu. Pokud nyní cyklickým řízením vychýlíme rovinu rotoru (nakloníme dopředu), původně kolmo působící vztlaková síla se rozloží na dvě složky - svislou a vodorovnou, která způsobí, že se vrtulník začne pohybovat vpřed. Jelikož se díky naklonění kolmá složka vztlakové síly zmenší, znamenalo by to, že vrtulník začne klesat. Při přechodu do dopředného letu je proto třeba kolektivním řízením zvýšit úhel náběhu listů a také tomu odpovídajícím způsobem zvýšit otáčky motoru. S tím související změna reakčního momentu nosného rotoru vyvolá potřebu korekce vyrovnávacím rotorem. Jakmile se vrtulník začne pohybovat ve vodorovném směru, změní se rychlost obtékání listů nosného rotoru. List postupující vpřed je obtékán vyšší rychlostí (vzniká na něm větší vztlak, protože rychlost otáčení listu a dopředná rychlost se vektorově sčítají), než list ustupující vzad (dává menší vztlak, protože rychlost otáčení listu a dopředná rychlost se vektorově odčítají) a rotor se v důsledku toho poněkud nakloní vzad. Protože je ale tento záklon menší, než sklon dopředu diktovaný cyklickým řízením, vrtulník posléze poletí vpřed ustálenou rychlostí. Při dopředném letu se uplatňuje také odpor trupu vrtulníku, který rychlost pohybu zmenšuje. Protože odpor trupu je menší při letu dopředu, než při letu do strany, je pro let do strany stejnou rychlostí třeba větší výchylky cyklického řízení (a v důsledku toho i větší výchylky kolektivu). (Pohled shora prozrazuje, že problém působících momentů je díky posunu těžiště a středu rotoru ve skutečnosti ještě složitější...)

Podobně jako s modelem letadla i s vrtulníkem se vzlétá a přistává proti větru. Boční nebo dokonce zadní vítr má značný destabilizující účinek (z boku vítr ofukuje velkou plochu trupu a kotouče vyrovnávacího rotoru, vítr zezadu výrazně mění poměry obtékání listů rotoru i ocasních stabilizačních ploch).

**Přízemní jev**

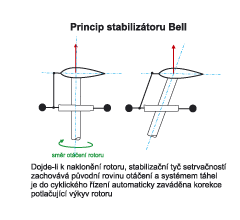
Pokud se vrtulník nachází v malé výšce nad zemí, proud vzduchu hnaný nosným rotorem pod vrtulníkem vytváří "vzduchový polštář" - masu s vyšším tlakem, než má vzduch v okolí. Vzduchový polštář vrtulník nadlehčuje - udává se, že takto získaný přírůstek vztlakové síly u vrtulníku visícího ve výšce odpovídající velikosti poloměru nosného rotoru je 10-15%. Přízemní jev usnadňuje vzlet vrtulníku, ale zároveň komplikuje pilotáž, neboť je třeba čelit tendenci modelu ke sklouznutí s "polštáře" na stranu. Při nesprávné pilotáži - pokud je rychlost klesání vrtulníku větší, než je rychlost proudu vzduchu prostupujícího rotorem - může dokonce dojít k vytvoření tzv. vírového prstence okolo rotoru, který je způsoben tím, že vzduch prudce stlačený pod rotorem se "přelévá" okolo jeho obvodu. Důsledkem je pokles vztlaku, protože velkou část energie rotoru pohltí vytváření víru a ztráta řiditelnosti.

Přízemní jev se výrazněji projevuje při výšce letu menší, než je průměr nosného rotoru.

Při létání s malými vrtulníky v uzavřených místnostech nebo poblíž velkých předmětů je třeba brát ohled nejen na blízkost země, ale také stěn atd. I zde zhruba platí, že chování vrtulníku bude výrazně ovlivněno, pokud se model přiblíží na vzdálenost menší, než je průměr nosného rotoru. A ještě větší problémy nastanou, pokud se trup modelu přiblíží ke stěně na vzdálenost menší, než je poloměr nosného rotoru...

**Stabilizace nosného rotoru**

Ve skutečnosti jsou listy nosného rotoru zavěšeny tak, že se mohou (v jistých mezích) volně kývat ve svislé i vodorovné rovině a v normální poloze jsou udržovány působením odstředivého zrychlení. Volné zavěšení listů je velmi důležitým prvkem, který účinně tlumí vibrace listů. Pomáhá také vyrovnávat síly vyvolávané tím, že pokud se vrtulník pohybuje vůči okolnímu prostředí (nebo se okolní prostředí pohybuje vůči vrtulníku), list postupující "proti větru" poskytuje vyšší vztlak, než list ustupující "po větru", což vede k vychylování vrtulníku do strany (pokusné vrtulníky se zcela tuhými rotory měly tendenci se převracet).

Výše popsaná stabilizace ale stále nemusí být dostatečná, řízení vrtulníku může být stále nadměrně citlivé a vyžadovat neustálé trimování. Z tohoto důvodu bylo vyvinuto několik systémů tlumení samovolných pohybů rotorových listů; v modelovém provedení se nejvíce používají stabilizátory založené na systémech firem Hiller a Bell (nebo jejich kombinaci). Dá se říci, že RC modely vrtulníků začaly dobře létat teprve potom, co konstruktéry napadlo tyto stabilizátory používat.

Oba systémy jsou založeny na tom, že k dvoulistému nosnému rotoru je kolmo připojena stabilizační tyč (flybar) se závažími (Bell) nebo malými stabilizačními ploškami ("pádly", flybar paddle) na koncích (Hiller). Působením odstředivých nebo aerodynamických sil - či kombinací obou - má stabilizační tyč při podélném nebo příčném náklonu vrtulníku tendenci setrvávat jako setrvačník v jedné rovině. Je proto možné prostřednictvím systému táhel od ní odvozovat korekce cyklického řízení pro automatickou stabilizaci rotoru a celého vrtulníku. Stabilizační tyč může být umístěna na rotorové hlavě pod nosným rotorem nebo nad ním. Korekce mohou být přenášeny táhly přímo na listy rotoru, nebo se řídící pohyby přenášené od desky cykliky a korekce od stabilizátoru mechanicky mixují zvláštním mechanismem nazývaným kompenzátor (washout), který je navlečen na hřídeli rotoru nad deskou cykliky.

Oba systémy stabilizátorů na druhou stranu omezují maximální rychlost, jakou může vrtulník letět, a také tím, že tlumí i úmyslné výchylky roviny otáčení rotoru, poněkud zpožďují reakci vrtulníku na řízení. Pro 3D akrobacii, kde by byla velká vrozená stabilita na úkor obratnosti, se také co nejvíce redukuje hmotnost stabilizačních plošek.

**Ocasní stabilizační plochy**

Ke stabilizaci v dopředném letu se používají pomocné stabilizační plošky (zpravidla se souměrným profilem) upevněné na ocasním nosníku - vodorovný a svislý stabilizátor. Jejich funkce je podobná jako funkce ocasních ploch u letadla. Při visení je jejich účinek malý, při letu vzad nebo při zadním větru pak mohou mít účinek mírně destabilizující, protože jsou obtékány v opačném směru.

Pro 3D akrobacii se často nahrazují "vykousanými", které mají jen obvodový rám (zpravidla uhlíkový) plnící funkci mechanické ochrany vyrovnávacího rotoru (a také dekorativní), protože "plné" plošky by mohly omezovat obratnost v extrémních manévrech.

**Gyroskopy**

Stále nám ještě zůstává problém stabilizace vrtulníku okolo svislé osy. Vnější vlivy (např. boční vítr) a každá změna setrvačného momentu nosného rotoru - což je v podstatě spojeno s uplatněním jakéhokoliv povelu kolektivního i cyklického řízení - vyvolávají potřebu neustále korigovat výchylky modelu okolo svislé osy. Pro usnadnění pilotáže se na palubu umisťují gyroskopy, krátce "gyra" (gyro), zařazované mezi přijímač a servo bočení ovládající vyrovnávací rotor. Gyro je zdrojem řídících impulsů, které působí proti nežádoucím výchylkám modelu okolo svislé osy. Citlivost a velikost odezvy gyra je nastavitelná (tzv. zisk, gain) - u jednoduchých modelů ručně pomocí potenciometru na gyru, u pokročilejších modelů dálkově pomocí speciálního kanálu RC soupravy. Umožňuje to zisk nastavovat ručně nebo automaticky dle aktuální potřeby. Klasické gyro funguje tak, že korekční impuls má velikost přímo úměrnou okamžité velikosti korigované odchylky; působí v opačném smyslu a pouze po dobu, co trvá nežádoucí odchylka. Zisk gyra - tj. míru odezvy - je třeba nastavit tak, aby došlo k potlačení nežádoucí odchylky, ale aby ocas modelu nepřekmitával na opačnou stranu a nedošlo tak naopak k destabilizaci. Účinek gyra model stabilizuje, ale zároveň také působí proti úmyslným povelům pro bočení, takže se pilot s gyrem poněkud "přetlačuje". Programy pokročilejších RC souprav proto umožňují (při použití gyra s dálkově řízeným ziskem) potlačovat účinek gyra v momentě, kdy vychýlíte ovladač bočení na vysílači.

V tomto jednoduchém provedení ale dochází také k nežádoucímu jevu, který se nazývá "efekt větrné korouhve". Představte si vrtulník, který visí, a je vystaven bočnímu větru. Působením větru - především na velkou plochu disku vyrovnávacího rotoru - se začne ocas modelu stáčet, gyro pohyb zastaví. Protože jeho účinek trvá, jen dokud působí původní rušivý impuls, model se nevrátí zpět do původní polohy, ale pootočí poněkud proti větru. Jelikož boční vítr vane stále, celý proces se opakuje, až se nakonec vrtulník ustálí s podélnou osou orientovanou ve směru vanoucího větru. Tento problém odstraňují moderní gyra se systémem nazývaným "heading hold", "heading lock" nebo "AVCS", která mají schopnost nejen působit proti rušivým výchylkám okolo svislé osy, ale dokáží také model udržovat ve stálém kursu (heading = kurs). Nahrazují tak zcela působení revo-mixu a dalších mixů, které zavádějí kompenzační výchylky do ovládání vyrovnávacího rotoru - tyto mixy musejí být proto vypnuty. Tato gyra také automaticky potlačují svůj účinek ve chvíli, kdy z vysílače obdrží signál pro změnu polohy serva bočení, takže i tato funkce vysílače není třeba. Prostřednictvím dálkového řízení zisku je možno heading hold gyro přepnout do režimu, ve kterém pracuje jako klasické gyro, pokud to shledáte pro některý letový režim výhodnější.

Správná funkce gyra vyžaduje použít pro ovládání vyrovnávacího rotoru rychlé a přesné servo s tuhým systémem táhel bez vůlí. U špičkových gyroskopů je pravidlem, že jsou doplňovány speciálními superrychlými digitálními servy a navíc je používána několikanásobně vyšší frekvence řídících impulsů (normální je cca 50 Hz), aby byla zajištěna co nejrychlejší a nejpřesnější reakce. V době, kdy byly gyroskopy teprve uváděny do běžného používání, nijak zvláště přehnaná reklama jednoho z výrobců tvrdila, že díky jejich používání se doba zvládnutí základní pilotáže zkracuje až o polovinu...

**Regulátory konstantních otáček nosného rotoru**

Další možností pro stabilizaci a zjednodušení pilotáže je použití nějakého systému, který bude udržovat konstantní otáčky nosného rotoru. Díky tomu se výrazně omezí potřeba příslušných korekcí. U vrtulníku s elektrickým pohonem je takový regulátor celkem snadno představitelný, běžný regulátor stačí jen doplnit o nějaký systém snímání otáček rotoru (motoru) a tím zajistit zpětnou vazbu nezbytnou pro regulaci.

U modelů se spalovacím motorem je třeba na palubu umístit inteligentní regulátor (governor), který poté, jakmile otáčky motoru/nosného rotoru dosáhnou určité úrovně, převezme řízení RC karburátoru a bude nezávisle na vysílači a v něm nastavené křivce předvolby plynu udržovat otáčky na zvolené cílové hodnotě. Cílové otáčky je zpravidla možno nastavovat dálkově pomocí volného kanálu RC soupravy nebo potenciometrem na regulátoru, pokud není volný kanál k dispozici. Dálkové řízení umožňuje pro různé letové režimy (visení, dopředný let, akrobacie atd.) nastavit různé - a vždy optimální - otáčky. Snímání otáček se zpravidla provádí magnetickým nebo optickým snímačem na chladícím ventilátoru motoru. Používání takovéhoto zařízení modeláře ale nezbavuje "povinnosti" mít motor správně naladěn - governor by jinak mohl např. maskovat projevy nastavení příliš chudé směsí (motor postupně zvyšuje otáčky).

**Autorotace (throttle hold)**

Co si počít v případě, že vrtulníku za letu náhle zhasne motor? Nosný rotor je schopen poskytovat potřebný vztlak jen tehdy, pokud se otáčí dostatečnou rychlostí. Pokud má vrtulník dostatečnou výšku a pohybuje se s dostatečnou dopřednou rychlostí, je to celkem dobré, protože při správném řízení má pilot v zásobě dostatek energie. Potom lze relativně snadno dosáhnout plynulého sestupu tzv. autorotací (rotor se volně otáčí, není poháněn motorem) přijatelnou rychlostí se závěrečným podrovnáním. Horší je to např. při strmém stoupání, kdy je dopředná rychlost malá, listy nosného rotoru jsou nastaveny na velký úhel náběhu a reakční moment rotoru je velký. V tom případě je nutno ihned zmenšit kolektivním ovládáním úhel náběhu listů a nedovolit, aby jejich rychlost otáčení příliš poklesla. Nízko nad zemí se rychlost pádu zmírní podrovnáním - pilot prudce zvýší kolektivním řízením úhel náběhu listů, zvýšený vztlak vrtulník zabrzdí a ten dosedne relativně bezpečně. U skutečných vrtulníků (i modelů) ale existuje určitá oblast letových výšek a dopředných rychlostí, kdy je bezpečné autorotační přistání nemožné. Např. pokud "dospělému" vrtulníku selže motor ve visu ve výšce větší než cca 10 metrů a menší než asi 150 m, je kinetická energie, kterou vrtulník získá pádem s volně se protáčejícím rotorem dost velká na jeho rozbití, ale zároveň rotor ani při sebelepší pilotáži nemůže získat dostatek rotační energie pro závěrečné podrovnání.

U modelů vrtulníků je autorotace jedním z letových režimů naprogramovaných ve vysílači, aktivuje se přepnutím zvláštního dvoupolohového přepínače. Protože jde o nouzový režim, který je třeba trénovat s tím, že vrtulník má být poté dále schopen pokračovat v normálním letu, nastavení tohoto letového se výrazně liší od ostatních. Ovládání plynu je odpojeno od ovladače kolektivu a otáčky motoru jsou udržovány na pevné hodnotě zajišťující spolehlivý volnoběh, při němž ale nezabírá odstředivá spojka. Vyrovnávací rotor, který není poháněn, nelze použít k ovládání bočení. To ale není kritické díky tomu, že volně se otáčející rotor nevyvozuje reakční moment; proto není třeba ani revo-mix a gyro.

Ve špičkové akrobatické praxi není autorotace nouzový režim, ale naopak příležitost předvést pilotní mistrovství. Aby byla zachována plná ovladatelnost vrtulníku, musí mít vyrovnávací rotor stálý náhon od motoru.

**Přetažení**

Zatímco normální letadlo musí vždy udržovat určitou minimální (tzv. pádovou) rychlost, vrtulník je schopen stabilního a plně řiditelného letu i s nulovou dopřednou rychlostí. Přesto i na listech nosného rotoru může za určitých podmínek docházet k odtrhávání proudění doprovázenému ztrátou vztlaku, která může vést až ke ztrátě řiditelnosti a pádu. U vrtulníku k tomu může docházet při vysokých rychlostech otáčení rotoru a je spojeno s různým obtékáním postupujícího a ustupujícího listu při dopředném letu. K odtrhávání proudění dochází nejdříve na ustupujícím listu v poloze "15 hodin" poblíž špičky a současně i v blízkosti kořene. S nárůstem rychlosti se oblasti, kde dochází k odtrhávání proudění rozšiřují do stran a směrem ke středu listu. Důsledkem jsou silné vibrace v podélném i příčném směru, které mohou vést až ke ztrátě řiditelnosti.

**Pohon vrtulníku**

Pro pohon vrtulníku slouží elektromotory nebo spalovací motory. Zatímco otáčky elektromotoru jsou elektronickým regulátorem plynule regulovány od nuly a motor tak může být připojen přímo k převodům, spalovací motor v chodu má vždy určité minimální volnoběžné otáčky. K převodovému ústrojí proto není připojen stálým převodem, ale prostřednictvím odstředivé spojky. Ta umožňuje nastartování motoru, aniž by se otáčel nosný rotor. Ke startování se používají elektrické startéry stejného typu jako pro modely letadel, zpravidla opatřené startovacím adaptérem zakončeným šestihrannou koncovkou.

Převodové ústrojí mezi motorem (odstředivou převodovkou) bývá jednostupňové nebo dvojstupňové, s ozubenými koly přímými nebo kuželovými nebo s přenosem síly pomocí ozubených řemenů. Častá je kombinace malého kovového pastorku s velkým kolem z odolného plastu plněného skelnými vlákny. Plastové kolo nebo ozubený řemen svojí pružností chrání převody a hlavní hřídel před značnými mechanickými rázy přenášenými z nosného rotoru, navíc umožňují převodovku řešit jako otevřenou. Pokud by byla všechna kola kovová, musela by být uzavřena v (těžké) skříni chránící převody před prachem a nečistotami.

Vzhledem k tomu, že motor vrtulníku pracuje prakticky stále v režimu vysokého nebo maximálního výkonu, musí být dobře chlazen. Spalovací motory proto mají velké chladící hlavy a elektromotory přídavná chladící žebra. V praxi to nestačí, takže spalovací motory a obvykle i elektromotory jsou opatřeny mnoholistými ventilátory zajišťujícími nucené chlazení. Vzhledem k náročnému teplotnímu režimu je většina spalovacích motorů vyráběna v provedení s pístem s pístním kroužkem. Toto uspořádání také přináší jednodušší záběh - zatímco v modelu letadla motor ABC zaběhneme po spotřebování 5-10 obsahů nádrže, u kvalitního vrtulníkového motoru s kroužkem by se to mělo podařit během 1-2 nádrží.

Výkon pro náhon vyrovnávacího rotoru se odebírá prostřednictvím volnoběžného převodu. Pokud má být vrtulník schopen akrobacie v režimu autorotace, musí mít vyrovnávací rotor stálý náhon.

Palivové nádrže jsou úmyslně vyráběny z průsvitného plastu a umisťovány tak, aby bylo za letu možno kontrolovat výšku hladiny paliva. Někdy se sledování stavu ulehčuje používáním paliva obarveného speciálními barvivy. (Barviva mají právě tento účel, neznamená to tedy, že třeba červeno-žlutě kostičkované palivo má automaticky lepší kvalitu, než jiné palivo v "přírodní" barvě.) Zvláštní péče se věnuje tomu, aby bylo co nejlépe potlačeno pěnění paliva a byla zajištěna co nejplynulejší dodávka paliva. Často je proto hlavní nádrž doplněna ještě o malou vyrovnávací, která tyto problémy omezuje.

**Nosný rotor**

Nosný rotor je tvořen listy a rotorovou hlavou (rotor head). Modely vrtulníků mají nejčastěji dvoulisté nosné rotory doplněné stabilizátorem se stabilizační tyčí vycházející ze systémů Bell a Hiller; celkem běžné jsou také čtyřlisté rotory a objevují se i třílisté. Rotorové listy se pro cvičné vrtulníky se spalovacím motorem vyráběji lepením z několika druhů dřeva - jádro z tvrdého dřeva je doplněno lamelami z balsy nebo jiných měkkých dřev. Celek je potažen plastovou fólií, aby byla zajištěna odolnost vůči účinkům paliva a spalin. Malé modely s elektrickým pohonem mívají nosné rotory plastové, popř. z plastů plněných skelnými vlákny. Pro mnohem větší zatížení spojené s akrobacií se používají u všech velikostí vrtulníků listy z uhlíkových kompozitů.

Ještě důležitější než u vrtulí pro modely letadel je pečlivé vyvážení rotorových listů. Vzhledem k velkému průměru je důležité nejen vyvážení listů jako celku, ale také stejnoměrné rozložení hmoty po délce listu - z tohoto důvodu se vyvažuje ve dvou krocích - nejprve samotné listy a poté rotor jako celek. K tomu se prodávají speciální vyvažovací přípravky; v nouzi můžete postupovat následovně: nejprve je třeba najít těžiště jednotlivých listů a označit je. Pokud se poloha těžiště listů liší, je třeba list(y) dovážit na jednom z konců tak, aby byla shodná. Potom se listy sešroubují ve středu pomocí delší závitové tyče a dále pracujete jako s klasickým vyvažovákem vrtulí. Dobře vyvážená vrtule musí volně setrvávat ve vorovné poloze - přesněji řečeno v libovolné poloze. Pokud vrtule "váhne" k jedné straně, je třeba lehčí list dovážit - zátěž se umisťuje zásadně do těžiště listu. Vyvažují se zpravidla pouze dřevěné listy, listy z uhlíkového kompozitu jsou vyvažovány a párovány již u výrobce.

Stejně důležité je seřízení rotoru tak, aby špičky listů obíhaly v jedné rovině - aby rotor "neházel". Základní nastavení se provede s pomocí přípravku na měření úhlu náběhu rotorových listů; pro jemné seřízení se konce listů opatří značkami v různých barvách a za chodu se sleduje, zda obíhají ve stejné rovině.

**Vyrovnávací rotor**

Vyrovnávací rotory jsou opět tvořeny listy a podstatně jednodušší hlavou (nemá stabilizátor a ovládání je pouze kolektivní). Jsou takřka vždy dvoulisté, jen u některých maket čtyřlisté.

Rotorové listy vyrovnávacího rotoru bývají většinou plastové, pro akrobatické létání se nahrazují uhlíkovými. Vyvážení vyrovnávacích rotorů je samozřejmě také velmi důležité.

**Kostra vrtulníku**

V konstrukci nosného rámu draku modelů vrtulníků se výrazně uplatňují díly lisované z houževnatých plastických hmot plněných skelným vlákny. U malých i velkých strojů se také často používají uhlíkové kompozity a díly ze slitin hliníku - ty zvláště u větších modelů. Kostra trupové gondoly bývá zpravidla tvořena dvojicí bočnic (plastových, uhlíkových nebo kovových) sešroubovaných příčkami. Takto je možno vytvořit dostatečně tuhou konstrukci, ke které je uchycen motor, převodové ústrojí, nosný rotor a lože pro RC vybavení. Přitom po sejmutí lehké karoserie - krytu kabiny - uchycené na několika čepech je zpravidla zajištěn dobrý přístup pro seřizování, kontrolu a údržbu.

Ocasní nosník musí být pro zajištění přesného ovládání velmi tuhý. Používají se proto trubky ze slitin hliníku nebo uhlíkové, doplněné příčnými vzpěrami z téhož materiálu.

**Přistávací zařízení**

Podvozek je velmi důležitou a extrémně namáhanou částí vrtulníku. Zatímco skutečné vrtulníky mají častěji kolový povozek (pevný, někdy zatahovací), u modelů spíše převládá lyžový podvozek s dvojicí trubkových lyžin (ne, milý Ústave pro jazyk český, psát ližina nás opravdu nedonutíš, naše vrtulníky dosedají na pevné a tvrdé lyžiny, ne na nějaké od pohledu "vachrlaté" a měkké ližiny). Jednoduše je tak získáno zařízení lehké a přitom s velkou šířkou a délkou, zajišťující maximální stabilitu při vzletu i přistání. V modelářské praxi se v počátečních fázích výuky pilotáže s oblibou používají tzv. cvičné kříže - dvojice zkřížených trubek ze slitin hliníku (nebo laminátové u malých modelů) upevněné k lyžinám gumovými oky a na koncích opatřené velkými koulemi z pěnového plastu. Mnohonásobně se tak zvětšuje základna, na kterou vrtulník dosedá a omezuje se nebezpečí kontaktu listů nosného nebo vyrovnávacího rotoru se zemí nebo dokonce převržení.