**Vrtulníky 1.: Jak funguje rotor**

Tak zase něco málo co se děje když heli letí dopředu (nebo kamkoli jinam). Bohužel učebnice aerodynamiky pro vrtulníky v češtině jsou celkem vzácné a špatně dostupné zboží. Zato pro ty kteří umí anglicky je situace mnohem lepší. Dobře popsané základy jsou na netu snadno dostupné například zde: <http://www.dynamicflight.com/aerodynamics/>. Kdo tohle pochopí má dostatek znalostí pro porozumění jak vrtulník letí a co se vlastně děje za letu (kromě toho faktu že ho sama země odpuzuje). Samozřejmě dá se létat i bez jakýchkoliv znalostí aerodynamiky ale osobně bych doporučoval něco o tom vědět.

Vztlak na rotoru závisí na úhlu náběhu listů a rychlosti vzduchu který proudí kolem profilu listu (i na mnoha dalších věcech ale ty jsou teď nepodstatné). Čím větší úhel náběhu a rychlost vzduchu, tím větší vztlak. Nejde to ale donekonečna, při překročení určitého úhlu už vztlak neroste, dokonce klesá a co stále roste a hodně je odpor. Stejné je to s rychlostí. Při přiblížení k rychlosti zvuku vznikají jenom samé problémy a ne zvýšení vztlaku (překročení rychlosti u modelů akutní není ale je to hlavní důvod proč dospělé vrt. nelétají o moc víc než 300km/hod. U nich je obvodová rychlost na konci listu ve visu běžně nad 800 km/hod takže k rychlosti zvuku už moc velká záloha rychlosti není). Pro zajímavost jsem spočítal obvodovou rychlost pro jeden konkrétní vrtulník co dobře znám a vyšlo mi 973 km/hod !!

Když se podíváš na heli shora vidíš rotor jako kružnici kterou opisují listy. Na ní se obvodová rychlost mění od nejmenší u osy rotoru až po nejvyšší na špičkách listů.Dejme tomu že rotor se točí doprava. Pokud vrtulník visí a špička listu opíše celou kružnici ve všech bodech má vzduch který na ni nabíhá stejnou rychlost. U T-rexe cca 300km/hod. Pokud ale poletíš dopředu rychlostí třeba 50km/hod., rychlost letu se připočítá (a taky odpočítá) k obvodové rychlosti. A z toho vyplyne že na levé straně vrtulníku budou listy ofukovány rychlostí 350 km/h a na opačné straně budou naopak ofukovány rychlostí jen 250km/h. Už tady máme problém s rozdílným vztlakem na opačných stranách rotoru. (Asi jako když u letadla má levé křídlo o 15% větší vztlak než pravé). Když je na listu větší vztlak, list mávne nahoru a jeho těžiště se přiblíží k ose rotoru . Protože musí být zachován moment hybnosti, list zrychlí otáčení a posune se dopředu (kývne). Je to stejné jako když krasobruslař v piruete začne s roztaženýma rukama a dá je k tělu. Otáčení se zrychlí , když je dá od sebe, zpomalí. Právě tak když se těžiště listu posune k ose rotace, list musí zrychlit a opačně. takže v dopředném letu jdou naše listy na levé straně rotoru nahoru a dopředu a na pravé straně dolů a dozadu.

Z toho pro modely vyplývá že pokud listům jejich uchycení v hlavě neklade stejný odpor máte problém s vibracemi. Mávání listů nahoru a dolů tlumí hlavně gumy ve kterých je uložen příčný hřídel. Pro tento děj není podstatné jak tvrdé gumy máte. To má vliv hlavně na rychlost a velikost reakcí rotoru na cyklické řízení. Podstatné je aby byly všechny stejně tvrdé. Kývání dopředu a dozadu je bržděno utažením listů v držáku. Pokud tření není stejné opět máte problém s vibracemi. Blahopřeji všem co se dokázali dočíst až sem aniž by umřeli nudou. Ale tohle fórum čtou i úplní začátečníci a jim je tento příspěvek určen.

**Vrtulníky 2.: Směrovka a výškovka**

Plné nebo mřížové?

Obě plochy směrovka i výškovka fungují stejně a to tak že srovnávají ocas do směru vzduchu který na ně proudí. Fungují jako stabilizátor. Při dopředném letu pokud se ocas z jakéhokoliv důvodu odchýlí ze směru ve kterém na něj proudí vzduch, na ploše vznikne síla která zase ocas vrátí zpátky. Úplně stejně jako vlajka ve větru. Ta se taky vždy nastaví po vetru. Funguje to tím víc, čím je plocha větší, je dál od osy rotoru a čím je síla vzduchu (čili rychlost letu) větší. Pro létání velkých obratů na rychlosti je to velká pomoc ve stabilizaci. Létá se to prostě líp a líp to taky vypadá protože směrovka i výškovka pomáhá.

Pokud ale poletíte ocasem napřed je všechno zase jinak a to obráceně. Čím větší plochy a rychlost tím víc se vrtulník bude snažit otočit se ocasem po směru letu a bude velice nestabilní (něco jako kladná zpětná vazba). Každá odchylka se bude rychle zvětšovat. Pro 3D se k tomu ještě přidává ta skutečnost že při rychlých obratech na místě plné plochy mají větší odpor a zpomalují rychlost otáčení. K tomu ještě mají větší hmotnost a tím větší setrvačnost takže pro rychlé změny pohybu je třeba větší výkon. Pro 3D čím větší plocha (a hmotnost) ocasních ploch tím hůř. Pro ty co ještě 3D a ocasem napřed nelétají bych radil plné plochy.

**Vrtulníky 3.: Useknuté ocasní trubky**

Nejčastěji listy narazí do ocasní trubky při přistání tvrdším než je obvyklé. Pominu všechny ostatní případy při kterých se to stává a budeme se bavit pouze o přistání. Stane se to proto že při prudkém přistání na listy působí setrvačná síla ve směru ve kterém se pohybují a to je směrem dolů.Když při klesání vrtulník přestane klesat dotykem o zem (pod zem se obvykle hlavně v tělocvičně nedostane) listy (protože mají možnost kývat nahoru a dolů) pokračují směrem dolů k ocasní trubce. Působí na ně síla která je tím větší čím rychleji se pohybují (směrem dolů) a čím kratší je dráha na které vrtulník přestane klesat. Ta je po nárazu do země obvykle nulová a nelze ji nijak ovlivnit. Ovlivnit ale můžeme jiné věci které na promávnutí mají také vliv. První z nich je klesat pomalu (to se při havárii ale obvykle jaksi nedaří).

Na listy kromě jiných sil působí i odstředivá síla. Ta je táhne ven od rotorové hlavy pryč a je to ta největší síla vůbec která na listy působí.Působením této síly se listy snaží být v poloze kolmo na osu hlavního rotoru. A tím také dost vysoko nad ocasní trubkou.Čím větší je odstředivá síla tím více síly taky potřebujeme na to aby jsme listy z polohy kolmé na osu hlavního rotoru vychýlili.

Velikost odstředivé síly ale ovlivnit můžeme a to hlavně dvěma způsoby. První je použít těžší listy. Těžší list potřebuje na vychýlení z rovnováhy více síly. Tohle ale není ta správná cesta protože těžší list má větší setrvačnost a při nárazu do země promávne víc. Druhá je mnohem lepší a to použít vyšší otáčky.

**Takže když celý ten můj blábol shrnu vyjde mi toto:** Cílem je zabránit destrukci listů při přistání nárazem do ocasní trubky. Použitím pevnějších (uhlíkových listů) situaci neřešíme, jenom minimalizujeme následky. Použití tvrdších gum v hlavě které mávání tlumí situaci zlepší, ale nevyřeší – průvodní jev je změna letových vlastností vrtulníku. Náš problém vyřeší pouze dvě věci:

1. nepráskat o zem (to dokáže málokdo)
2. nelétat s nízkými otáčkami (to dokáže každý)

**Vrtulníky 4.: Stabilita vrtulníku.**

Dost často se tady vyskytují debaty o stabilitě vrtulníku. Někdy se člověk dozví zajímavé informace a někdy jenom bludy. Tuhle diskusi čtu už docela dlouho a celkem pravidelně a nepamatuji se že by tady někde bylo více informací pohromadě na jednom místě tak se pokusím něco na toto téma napsat. Kdo není úplný začátečník nebo má slabší nervy doporučuji dále nečíst.

Stabilit existuje více druhů (např. statická a dynamická) ale já se budu věnovat jenom tomu co si od tím představuje pilot modelu vrtulníku.

Hodně lidí zde si pod slovem stabilita představuje vrtulník, který hezky visí na místě a přimět ho k nějakému pohybu (změně polohy ) musí dát pořádnou fušku. Rozšířený názor je, že čím větší akce, neboli u nás tahání za páky řízení je třeba aby se vrtulník někam pohnul tím je stabilnější - je omyl. Toto není stabilita. Toto je řiditelnost. Všichni víme, že vrtulníky jsou mrchy a na rozdíl od většiny letadel jsou aerodynamicky nestabilní. To znamená, že pokud nastane nějaká odchylka, stabilní stroj má snahu sám se vrátit do výchozího stavu ale nestabilní, jako náš vrtulník odchylku zvětšuje a je na nás ve stabilní poloze ho udržet. Míra stability (nebo nestability) znamená, jak rychle stroj obnoví původní stav, nebo jak rychle se odchylka zvětšuje.

Stabilita vrtulníku závisí na mnoha věcech. Především obrovský vliv má hmotnost vrtulníku. Čím těžší, tím stabilnější. Na pohyb jakýmkoli tělesem je třeba vynaložit nějakou energii. Čím těžší těleso, tím více se brání a tím víc energie se musí vynaložit. To znamená, že těžký vrtulník se bude mnohem lépe bránit odchylkám od zadané polohy. Z toho jasně vyplývá že velký spalovák bude mnohem ale opravdu MNOHEM stabilnější než maličká elektra. Ale pro nás ani přílišná stabilita není dobrá. Zkuste pohnout vagónem a pak dětským kočárkem. Všechno spolu souvisí. Co je stabilní a krásně visí zase je špatně (nebo spíše na to potřebujeme velkou sílu) řiditelné. Nestabilní potvora sice ve visu nic moc ale zase s ní jdou udělat dva výkruty za sekundu.

Další velice důležitou věcí která má vliv na stabilitu je rotor a padla. Roztočený rotor a padla fungují jako gyroskop. Gyroskop (setrvačník) má jednu vlastnost která nás zajímá a to je, že se snaží udržovat svoji polohu v prostoru. To je pro nás dobře ale i špatně.

Dobře proto že při jakékoliv odchylce se rotor brání a nechce se nechat postrčit. Pokud se už ale pohne, tak nám život trošku komplikuje precesní pohyb ale tím se zabývat nebudu. Kdo si neumí představit jak rotor drží polohu, zkuste starý známý pokus: držte za osu vymontované kolo z bicyklu, roztočte ho na největší otáčky jaké dokážete, pak tou osou pohněte a uvidíte. Pokud vám to kolo z ruky vyběhne, pak jste právě v praxi viděli co je to precesní pohyb. Když budete osou hýbat pomalu, budete cítit jak se kolo brání odchýlit se, pokud zaberete rychle, osa se sama pohne (a to pořádně) ve vámi nepředpokládaném směru a budete se mít co ohánět to udržet.

A špatně je to proto, že budeme potřebovat velkou sílu abychom tím rotorem pohnuli. A to musíme když chceme řídit.

Čím větší je hmotnost rotoru a padel a jejich otáčky, tím vyšší bude jejich nastřádaná energie a tím více bude vrtulník stabilní. (Divné že, zdá se (začátečníkům) že na vysokých otáčkách jsou heli mnohem méně stabilní). Takže stabilitu modelu můžeme ovlivnit vším co zvýší energii nastřádanou v rotoru a padlech. Třeba těžší listy nebo padla, i přidání závažíček na padla se kladně projeví. Když mají listy těžiště vzdálenější od osy rotoru se taky kladně projeví.

A teď něco o řiditelnosti. Jednoduše řečeno je to vlastnost která určuje kolik síly budeme potřebovat na změnu polohy vrtulníku a jak rychle ta změna proběhne. Bohužel nejsem schopen vyjádřit to lépe. Znamená to jak je vrtulník ochoten nechat se měnit rychlost a směr pohybu. Představme si model začátečníka který visí na relativně malých otáčkách a pilot chce např. zabočit. Tak pohne kniplem. Chviličku se nic neděje, pak se vrtulník pohne, začne zvyšovat rychlost pohybu až na pilotem nastavenou hodnotu.Až se dostane na požadované místo, pilot vrátí knipl a celý proces se opakuje v opačném pořadí. Všechno se děje relativně pomalu, na vše je dost času a když dá pilot náhodou opačnou výchylku než by měl, je čas zjistit to a opravit. U pilota pokročilého který má nastaveny daleko vyšší otáčky a výchylky řízení, celý proces proběhne naprosto stejně jenom mnohem rychleji.

Celé to funguje takhle: naprostá většina modelů se řídí tak, že pilot povelem od serva ovládá naklánění padla. Padlo změní úhel náběhu a protože se točí, čili pohybuje v proudu vzduchu, vznikne na něm vztlak. Ten vztlak padlo zvedne nahoru (druhé opačně dolů) a protože tyčka na které jsou padla je pákou spojena s ovládáním úhlu náběhu listů – máme vyhráno! Čím více a rychleji změní polohu padla, tím rychleji se pohnou i listy a tím je reakce na řízení rychlejší. A padla se pohybují tím rychleji čím se rychleji točí, čím mají větší plochu, čím jsou lehčí (mají menší setrvačnost) a také čím je delší tyčka na které jsou upevněny protože jsou dále od osy otáčení a tím se pohybují vzhledem ke vzduchu rychleji proto na nich vzniká vyšší vztlak. S delší tyčkou padel souvisí další skutečnost a to zvýšení stability celého systému.Roztočená padla zároveň fungují jako gyroskop a za pomoci geniálně vymyšleného systému pák mají podstatný vliv na stabilitu rotoru. Zkuste si nad hlavou roztočit půlkilové kladivo na půlmetrovém topůrku a pak ho vychylte z rovnovážného otáčení. Pak zkuste stejné kladivo, jenom topůrko prodlužte na celý metr. Na co bude potřeba větší síla ke změně? A když je třeba větší síla na změnu stavu, je vyšší stabilita.

A nakonec (už jsem se dost vykecal) ještě poslední závislost. Čím vyšší otáčky na rotoru, tím vyšší bude vztlak na listech. Čím vyšší bude vztlak na listech tím menší úhel náběhu stačí na vyvození nějakého tahu. Tzn. na vyšších otáčkách na stejný tah stačí menší úhel náběhu. Na každou změnu polohy vrtulníku musíme vychýlit rotor někam. A když nám na to vychýlení stačí menší úhel náběhu, stačí i menší pohyb serva a a tím se nám zrychlí reakce na řízení.

Takže celým tímhle strašně dluhým povídáním jsem jenom chtěl trochu objasnit jak to je s tou stabilitou. Kdo se dočetl až sem dostane medaili za statečnost.

A pro úplné začátečníky: Vrtulník na malých otáčkách není stabilnější, on jenom pomaleji reaguje na řízení, když přidáte otáčky, bude reagovat rychleji při stejné velikosti výchylek. Nelétejte na příliš nízké otáčky. Není to dobré ani pro vrtulník ani pro vás. Těžká padla (nebo závažíčka) na delší tyčce pomůžou stabilitě (ale s délkou se to nesmí přehnat!!!). Pokud máte možnost pro začátek dát polosymetrické listy – dejte je, budete kromě jiného na stejné množství paliva déle viset. Na učení je nejlepší co největší vrtulník jaký si můžete dovolit.

**Doplnění od VITO**

Výborně napsáno, ještě bych k tomu doplnil:

- Samozřejmě závisí i na ploše a profilu padel, které opět hodně ovlivňují chování vrtulníku. Nejenom jejich hmotnost.

- S tím řízením pomocí padel je to trochu složitější. Např. 3D vrtulníky se padlama řídí dost málo, pilot řídí přímo listy (více) a méně padla, které i méně zasahují do stabilizace vrtulníku. U FAI mašin je tomu naopak.

Z uvedeného vyplývá, že lze jeden parametr měnit jenom v jistém rozmezí a není samospásný (už jsem na to několikrát upozorňoval). Co není na něco napákováno (poměry přepákování atp.), to lze těžko dohnat jiným způsobem.

A pozor, vždy je něco za něco.