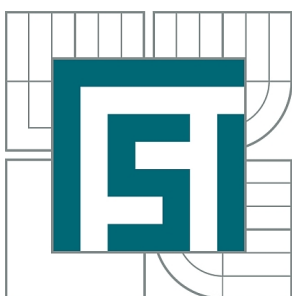


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
LETECKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

DOPRAVNÍ VRTULNÍKY

AIR TRANSPORT HELICOPTERS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

SLAVOMÍR RYBKA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ONDŘEJ NASTÁLEK

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Letecký ústav

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Slavomír Rybka

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Dopravní vrtulníky

v anglickém jazyce:

Air transport helicopters

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Téma bakalářské práce je zaměřeno na využití dopravních vrtulníků v civilním letectví a zpracování podkladů, jež shrnou a vyhodnotí dosavadní přínos jejich nasazení v tomto segmentu letectví.

Cíle bakalářské práce:

Historie a počátky vrtulníkové dopravy ve světě a u nás.

Kategorizace současných typů vrtulníků a jejich rozčlenění podle významných parametrů jako je počet nosných rotorů, typů rotorových hlav, pohonu, typu přepravovaného nákladu a jeho množství, podle počtu přepravovaných osob atd. a dále pak přehled společností, jež v ČR a SR vrtulníků využívají, ať už k dopravě nákladu a osob nebo k speciálním leteckým pracem.

Seznam odborné literatury:

- [1] NEŠTRÁK. D - PIL'A. J. 2007. Aerodynamika, konstrukce a systémy vrtulníků. 1 vyd. Brno 2007. Nakladatelství CERN. 456 s. ISBN 9788072044842
- [2] SEDLÁČEK. B. 1983 Provoz a ekonomika letecké dopravy I. 1 vydání. Bratislava: Vysoká škola dopravy a spojů v Žiline, Nakladatelstvo ALFA, 330 s. ISBN 80-3-3630
- [3] SEDLÁČEK. B. 1983 Provoz a ekonomika letecké dopravy II. 1 vydání. Bratislava: Vysoká škola dopravy a spojů v Žiline, Nakladatelstvo ALFA, 240 s. ISBN 80-3-3630
- [4] SVOBODA. V. 1979. Vrtulníky. 1 vyd. Nakladatelství NAŠE VOJSKO, 190 s.
- [5] JACKSON. P. 2004. Jane's ALL THE WORLD AIRCRAFT 2004-2005, Inc., 2004 by Janes's Information Group Limited. 860 p. ISBN 0-7106-2614-2

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Ondřej Nastálek

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 21.11.2011

L.S.

doc. Ing. Jaroslav Juračka, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

Abstrakt

Obsahem bakalářské práce je seznámení se ze vzniku vrtulníkové techniky od počátku jejich vývoje až po současnost. Práce zahrnuje přehledné rozdělení dopravních vrtulníků na základě jejich charakteristických prvků konstrukce. Stroje jsou děleny podle počtu a umístění rotorů, způsobu vyrovnávání se s reakčním momentem, typu pohonu, typu rotorových hlav a vzletové hmotnosti. Ke každé skupině je v tabulce uveden přehled vybraných typů dané kategorie. Práce také obsahuje profily vybraných společností poskytujících služby spojené s vrtulníkovou přepravou v České republice a na Slovensku, včetně údajů o cenách za nabízené služby.

Abstract

The Bachelor thesis contains introduction of the helicopter techniques from the beginning of their development to the present. The work includes complex view on the types of the transport helicopters based on their characteristic elements of design. The machines are divided according the number and location of the rotor, the method of dealing with reaction torque, engine type, the type of rotor heads and take-off weight. There is an overview of selected types of categories for each group, too. The work also includes profiles of selected companies which provide services related to helicopter transport in the Czech and Slovak Republic, including pricing list of services they offer.

Klíčová slova

Helikoptéra, nosnej rotor, rotorová hlava, vyrovnávací rotor, NOTAR

Keywords

Helicopter, main rotor system, rotor head, tail rotor, NOTAR

Bibliografická citace

RYBKA, S. *Dopravní vrtulníky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 51 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Ondřej Nastálek.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem vypracoval bakalářskou práci samostatně s použitím uvedené literatury.

V Brně dne 25. května 2012

.....

Slavomír Rybka

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Ondřeji Nastálkovi za vedení a pomoc při tvorbě této bakalářské práce.

Obsah

1. Úvod	11
2. História.....	12
2. 1. História vo svete	12
2. 2. História vrtuľníkov v Českej republike a na Slovensku.....	16
3. Princíp lietania a hlavné časti vrtuľníku	19
4. Rozdelenie vrtuľníkov	21
4. 1. Rozdelenie podľa počtu rotorov a ich umiestneniu	21
4. 1. 1. Jedn rotorové usporiadanie	21
4. 1. 2. Koaxiálne usporiadanie rotorov	22
4. 1. 3. Tandemové usporiadanie rotorov.....	23
4. 1. 4. Pričné usporiadanie rotorov	24
4. 1. 5. Usporiadanie s prelínajúcimi sa rotormi.....	25
4. 1. 6. Viacrotorové vrtuľníky	25
4. 2. Rozdelenie podľa spôsobu vyrovnávania sa s reakčným momentom.....	25
4. 3. Rozdelenie vrtuľníkov podľa rotorových hláv	30
4. 3. 1. Tuhé rotory.....	31
4. 3. 2. Polotuhé rotory.....	31
4. 3. 3. Kíbové rotory	32
4. 4. Rozdelenie podľa vzletovej hmotnosti.....	33
4. 4. 1. Ľahké vrtuľníky.....	34
4. 4. 2. Stredné vrtuľníky.....	34
4. 4. 3. Ťažké vrtuľníky	35
4. 5. Rozdelenie vrtuľníkov podľa typu pohonnej jednotky	35
4. 5. 1. Vrtuľníky s reakčným pohonom rotoru	36
4. 5. 2. Vrtuľníky s mechanickým pohonom rotoru.....	37
5. Možnosti vrtuľníkovej dopravy v Česku a na Slovensku.....	38
5. 1. Firmy poskytujúce služby vrtuľníkov v Českej republike	39
5. 2. Firmy poskytujúce služby vrtuľníkov v Slovenskej republike	40
6. Budúcnosť a nové trendy vrtuľníkov.....	42
7. Záver	44
Zoznam použitých zdrojov	45
Zoznam skratiek, veličín a jednotiek	48
Zoznam obrázkov	50
Zoznam tabuliek	51

1. Úvod

Vrtuľníky sú neoddeliteľnou súčasťou dnešného sveta. Poskytujú možnosti, ktoré sú v dnešnej dobe nenahraditeľné. Využívajú sa vo veľkej miere v armáde aj v civilnom svete. Ich výhodou je rýchlosť, a tým skrátenie času potrebného na prepravu. Oproti klasickým dopravným prostriedkom pohybujúcim sa po zemi, vrtuľníky majú možnosť priamočiarej cesty k cieľu. Lietadlá disponujú tiež touto možnosťou, ale oproti lietadlám dokážu vrtuľníky vzlietať a pristávať na podstatne menších plochách. Pristávacia plocha vrtuľníku nemusí mať špeciálne vlastnosti, stačí aby spĺňala nenáročné podmienky, ako napr. pevnú rovinu väčšiu ako priemer nosného rotora. Ďalšou výhodou, ktorú nedokáže poskytnúť lietadlo, je možnosť vistenia vo vzduchu. Každoročne rastie počet používaných strojov. Rovnako rastie počet prepravovaných osôb a nákladu vo svete.

Vznik vrtuľníkov vďaka ich značnej zložitosti bol komplikovaný. Konštruktéri úspešne aj neúspešne navrhovali odlišné riešenia problémov ako bolo ovládanie či pohon alebo tvary a počty nosného rotora respektíve nosných rotorov. Preto je potrebné poznať aj históriu týchto strojov, na ktorú sa v práci zameriam.

Rôzne konštrukčné riešenia helikoptér sa vyznačujú svojimi výhodami a nevýhodami. Z konštrukčného hľadiska je vrtuľníky možné deliť podľa niektorých charakteristík. V práci rozpracujem najbežnejšie delenie na základe počtu a umiestnenia rotorov, spôsobu vyrovnávania sa s reakčným momentom, typu rotorovej hlavy a typu pohonnej jednotky.

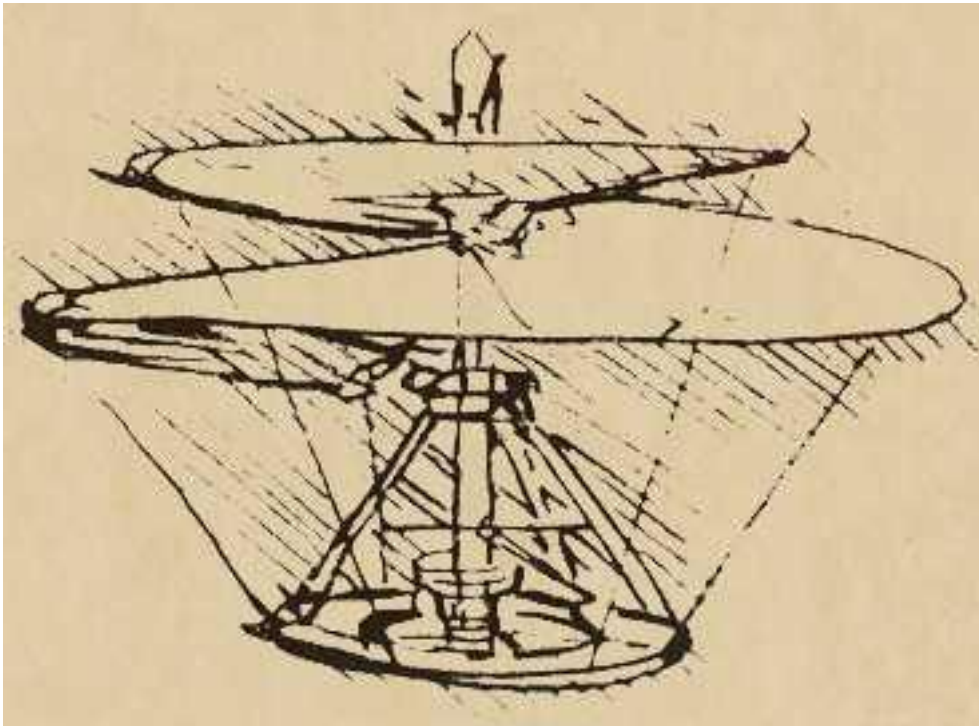
Ďalším základným delením je delenie na základe vzletovej hmotnosti, ktorá určuje množstvo prepravovaného nákladu a počtu osôb.

V civilnom svete vrtuľníky plnia špecifické úlohy. Pomocou vrtuľníkov zaradených v záchranárskych zložkách, sa môžu záchranári dostať aj do odľahlých miest a poskytnúť prvú pomoc zraneným ľuďom vo veľmi krátkom čase v porovnaní s inými dopravnými prostriedkami. Pomocou špeciálnych úprav alebo zariadení v podvese stroja sa využívajú vrtuľníky na hasenie požiarov. Ďalšou možnosťou použitia helikoptér, je použitie na prepravu osôb, tzv. Helitaxi a prepravu rôznorodých nákladov. V prípade potreby je možné využiť vrtuľníky na stavebné práce. V práci poskytnem tiež prehľad súkromných spoločností poskytujúcich služby vrtuľníkov v Českej republike a na Slovensku.

2. História

2. 1. História vo svete

Prvý návrh lietajúceho stroja schopného letieť vertikálnym smerom navrhol v roku 1475 Leonardo da Vinci (obr.1[10]). Jeho návrh bol založený na vzduchovej šrúbe z plátna vystuženej škrobom, ktorá mala poskytovať ťah aj vztlak. Tento rotor bol poháňaný ľudskou silou, ktorú prenášal pomocou lán a kladiek. Tento stroj však nikdy nevzlietol pre nedostatok výkonu.

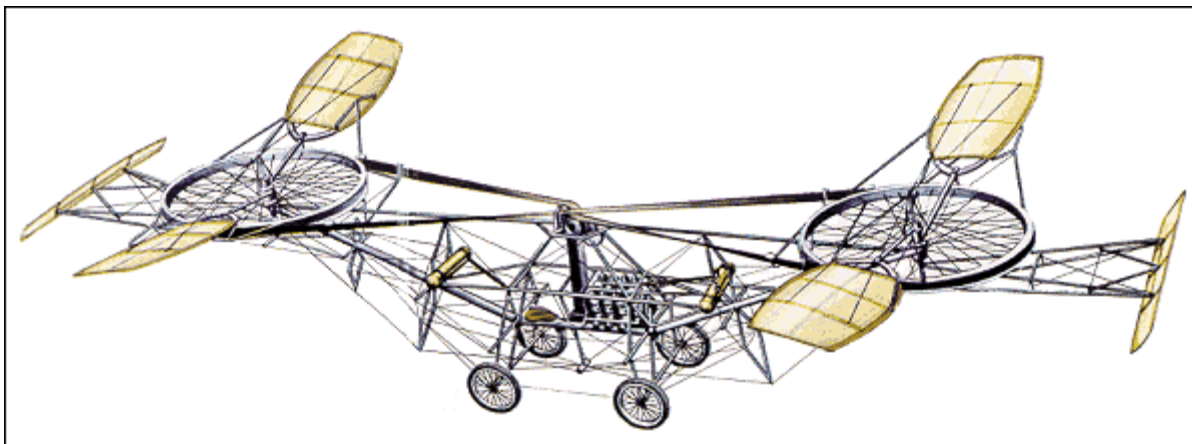


Obr. 1 Da Vinciho návrh vrtuľníku

Konštruktéri si uvedomovali, že ľudská sila nie je postačujúca pre úspešné vzlietnutie stroja ťažšieho ako vzduch. Preto vznikali rôzne modely a návrhy. Anglický vynálezca W. H. Philipps navrhol pohon dvoch protiúdcích vrtulí pomocou plynov vzniknutých chemickou reakciou. Tieto plyny prechádzali trúbkami umiestnenými vo vrtuliach a na konci boli zahnuté ako u Segnerovho kolesa. Stroj sa považuje za prvú prúdovú helikoptéru. Tento vrtuľník sa vzniesol do vzduchu, preletel časť územia, ale havaroval a rozpadol sa. V roku 1862 Gustave de Ponton d'Amécourt skonštruoval vrtuľník poháňaný malým parným motorom a zhotovený z rámu z vtedy nového kovu, hliníku. Ani tento stroj nedokázal vzlietnuť. Tento vynálezca sa považuje aj za stvoriteľa slova helikoptéra, ktoré vytvoril z gréckych slov helix, čo znamená špirála a pteron, čo sa prekladá ako krídlo. Roku 1889 prišiel Lodygin so strojom s názvom Elektroljot, teda s prvou myšlienkou poháňať vrtuľník elektromotorom. Lodygin patril ku prvým vynálezcom, ktorý navrhol princíp zmeny ťahu nosného rotoru kolektívnou zmenou nastavenia uhlu listov.

Na prelome devätnásteho a dvadsiateho storočia sa vynálezcovia zamerali skôr na stavbu experimentálnych vrtuľníkov a nie iba modelov. Dopomohlo k tomu objavenie spaľovacieho motoru. V roku 1904 bol postavený jeden z prvých pokusných helikoptér Francúzom Renardom. Mal dva protiúdcie rotory po boku trupu stroja. Paul Cornu postavil

prvý vrtuľník s dvoma rotormi v tandeme a možnosťou meniť sklon listov rotorov za letu (obr. 2 [11]), čo bol veľký pokrok vo vývoji vrtuľníkov.



Obr. 2 Vrtuľník Paula Cornu

Roku 1909 dvaja ruskí odborníci, B.N. Juriev a G Ch. Sabinin, vypracovali impulzovú teóriu, ktorá principiálne slúži dodnes. Táto teória zhodnocovala fyzikálne javy, ktoré nastávajú počas letu na rotoroch. Juriev vypracoval aj návrh vrtuľníku, kde sa nachádzal jeden nosný rotor a rotorov na konci trupu, ktoré vyrovnávali reakčný moment. Táto koncepcia sa dodnes považuje za najefektívnejšiu. Taktiež tento ruský konštruktér teoreticky zdôvodnil použitie cyklického nastavenia uhlu nábehu listov rotoru, na rozdiel od Corneho, ktorý riešil problém empiricky. Ďalším priekopníkom bol španiel Juan de la Cierva y Codornia. Jeho vynález, kĺbové uloženie listov rotoru na rotorovej hlave, sa dá považovať za jeden z najväčších vynálezov, čo sa oblasti vrtuľníkov týka. Významným medzníkom histórie vrtuľníkov bol stroj z dielne Focheho a Enchelisa Foche-Wulf Fw 61, ktorý prekonal veľa rekordov tej doby. Ale až amerického konštruktéra ruského pôvodu, Sikorského, napadlo využiť všetkých dovtedajších poznatkov, ktoré objavili Juriev, Cierva a poznatkov o autorotácii. Vznikol model VS-300 (obr. 3 [11]), ktorý postupným vylepšovaním prekonal všetky rekordy Fw 61. Roku 1942 uviedol Sikorsky prvú úplne ovládateľnú helikoptéru a začala sa jej sériová výroba. Tento čin naštartoval novú časť dejín vrtuľníkov, kde sa prešlo do sériovej výroby týchto strojov.



Obr. 3 VS-300

Zovšeobecnený vývoj vrtuľníkov po druhej svetovej vojne sa dá rozdeliť na základe krajiny pôvod.

V spojených štátoch sa popri Sikorskom začali presadzovať Arthur Young, ktorý skúmal uchytenie rotorových listov napevno, čo sa v tej dobe považovalo za nie vhodné riešenie, lebo tento typ uchytenia listov sa neblaho prejavoval na stabilite vrtuľníku. Young však prenášal krútiaci moment z motoru pomocou kardanového kĺbu, čo malo za následok, že vrtuľník ostal akoby visieť pod rotorom. K tomu pridal ešte na hlavu vrtuľníku ťažkú kovovú dosku, neskôr ťažšiu tyč, ktorá slúžila podobne ako stabilizátor. Firma Bell, ktorej najvýznamnejšími modelmi sú B-47G (Obr. 4[12], UH-1 Iroquois a jeho varianty (obr. 5[13], tento princíp využíva dodnes.



Obr. 4 Bell 47G-2

Ďalším úspešným konštruktérom bol Frank Piasecki a jeho H-21, alebo lietajúci banán, ako ho prezývali. Tento stroj mal tandemové usporiadanie rotorov. Jeho podnik odkúpil Boeing, ktorý pokračoval vo vývoji a vyvinul azda najznámejší tandemový vrtuľník, Boeing-Vertol 114, známejší pod vojenským označením CH-47 Chinook. Medzi významné podniky zaoberajúce sa výrobou vrtuľníkov v spojených štátoch amerických patrí Kaman Aerospace Corporation. Tato firma sa zameriava prevažne na helikoptéry s prelínajúcimi sa listami rotorov.

Takisto ako USA tak aj SSSR malo v povojnovej histórii záujem o vytvorenie vrtuľníku. Postupne vznikli štyri konštrukčné kancelárie, ktoré tvorili kolektívy okolo návrhárov Bratuchin, Mil, Jakovlev, Kamov. Bratuchin sa preslávil so svojou CAGY 11-EA Omegou, ktorá bola jedným z prvých vrtuľníkov v sovietskom zväze. Milove návrhy boli na základe Jurievovej koncepcie jedného nosného rotoru a vyrovnávajúceho rotoru na chvoste.

Preslávil sa veľkým počtom veľmi úspešných modelov, počínajúc Mi-1, Mi-2, Mi-6, Mi-8, Mi-10, Mi-12 (pri tomto vrtuľníku sa nedržal Jurievovej koncepcie), Mi-24, Mi-26 z ktorých mnohé prekonal svetové rekordy a niektoré ich držia dodnes. Napríklad Mi-12 je dodnes najväčší a najťažší vrtuľník na svete, ktorý sa vzniesol, a Mi-26 najväčší sériovo vyrábaný vrtuľník na svete. Jakovlevov azda najvýznamnejšie model bol Jak-24, takzvaný lietajúci vagón, ktorý mal tandemovú konštrukciu umiestnenia rotorov. N.I.Kamov sa zaoberal najmä stavbou vrtuľníkov s koaxiálne umiestnenou dvojicou rotorov. V deväťdesiatych rokoch dvadsiateho storočia začal Kamov vyrábať jeho prvý sériový vrtuľník Jurievovej koncepcie, Ka-62 (obr. 6[17]). Modely Kamov sa uplatnili hlavne v námorníctve, či už vojenskom alebo civilnom.



Obr. 5 Bell 205 A1



Obr. 6 Ka-62

Helikoptéry sa vyrábali a navrhovali aj vo Francúzsku, kde vznikli úspešné modeli napríklad SA-318Alouette, SA-318B Lama, SA-330 Puma, Sa-341 Gazelle (obr. 7[15]) (prvý vrtuľník z Fenestronom) vyrábané firmou SNIAS (Societe Nationale Industrielle Aerospatiale). V roku 1992 sa Aerospatiale spojil s nemeckou firmou Daimler Benz Aerospace AG (DASA) a vytvorili firmu Eurocopter. Najvýznamnejší modelom tejto značky je Eurocopter EC-135. V roku 2000 sa Eurocopter stal súčasťou European Aeronautic Defence and Space Company (EADS). Vo Veľkej Británii sa zaoberá výrobou firma Westland Helicopters Ltd. Taliansko reprezentuje firma Augusta zo svojim úspešným modelom A-109. Obe posledné menované firmy sa spojili v roku 2001 do podniku s názvom AugustaWestland.



Obr. 7 Sa-341 „Gazelle“

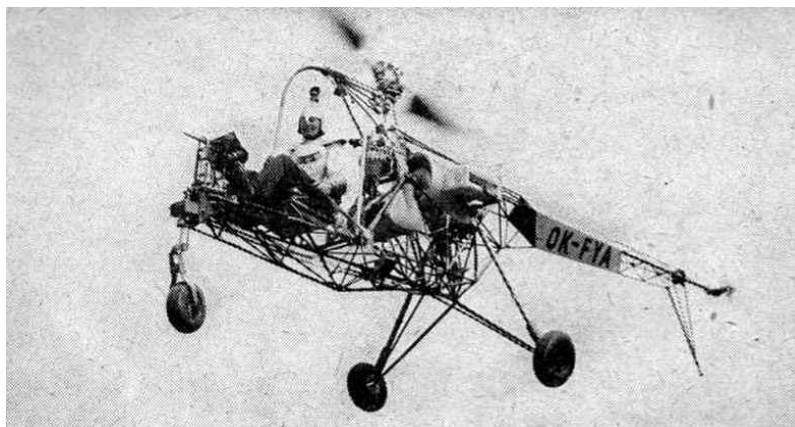
2. 2. História vrtuľníkov v Českej republike a na Slovensku

Pokusy vytvoriť vrtuľník boli aj na území Česka a Slovenska, ktorých začiatky sa datujú na koniec 19. storočia. Ako prvý sa u nás zaujímal o skonštruovanie helikoptéry Brabec. V roku 1891 navrhol a v roku 1896 postavil model vrtuľníku. Viac informácií o jeho činoch sa však nezachovali. S „prstencovým lietadlom“, ktoré malo viaclistový rotor poháňaný vrtuľkami na koncoch listov prišiel roku 1903 Georg Wellner. Pred prvou svetovou vojnou v oblasti teórie stavby a modelov vrtuľníkov zaznamenali úspechy pán Jarolímka, študenti Jan Hirsch a Pavel Beneš, Vít Holubec, páni Čenek, Chalupský a Slovák a Jozef Bahýl. Počas a po 1. svetovej vojne sa zaoberal stavbou vrtuľníkov napríklad František Novák, ktorý so svojimi synmi postavili prvé vrtuľníky skutočnej veľkosti v Československu, nie len modely. Pohon, rovnako ako u Wellnerovho projektu, zaisťovali vrtuľky na listoch rotorov, ktoré sa nachádzali na oboch listoch, približné v ich jednej tretine. Do vývoja však vstúpila vojna a nedostatok peňazí, ktorý projekt úplne ukončil.

Po 1. sv. vojne sa venoval konštrukcií helikoptér Vojenský letecký ústav študijný, ktorý vyvinul dva modely s koaxiálnymi rotormi. Do druhej svetovej vojny vznikalo u nás množstvo patentov a návrhov z hláv konštruktérov Tuček, Formánek, Haller, König či Čmelinský.

Veľký prevrat vo vývoji a výrobe vrtuľníkov nastal až po ukončení bojov druhej svetovej vojny. Nemeckí okupanti na našom území nechali nedostavané Fa-223, z ktorých podnik Avia vytvoril dva stroje, pod československým označením VR-1. Vlastný vývoj rýdze československého vrtuľníku začal v leteckom oddelení firmy Praga. Tam Ing. Jaroslav

Šlechta za pomoci kolektívu a skúseností s konštrukciou vrtuľníkov, nadobudnutých v Nemecku počas rokov 1942-1943, navrhol projekt helikoptéry s prelinajúcimi sa rotormi pod názvom Praga I exp. Vrtuľník. Tak ako Praga I exp. Vrtuľník, aj jeho ďalší projekt Praga E-I nikdy neboli realizované. Vo vývoji sa pokračovalo, i keď sa upustilo od koncepcie koaxiálnych rotorov a prešlo sa na Jurievovu koncepciu jedného nosného rotoru a jedného vyrovnávajúceho rotoru. Vznikol lietajúci prototyp pod názvom Aero XE-II (obr. 8 [16]), ktorý obohatil konštruktérov o veľmi cenné skúseností. Tie zúžitkovali pri práci na projekte helikoptéry HC-2 „Heli Baby“. Tento výnimočný stroj aj na svetovej úrovni začal lietať roku 1954. Tento ľahký spojovací a cvičný vrtuľník prekonal aj rekordy FAI vo svojej kategórii. Roku 1958 vyšiel z továrne Moravan prvý sériovo vyrábaný HC-2 (obr.9 [21]). Neskôr sa uskutočnila prestavba HC-2 na HC-102, čo obnášalo zvýšenie výkonu motoru a pridanie doplnkov, ako napríklad elektrický spúšťáč.



Obr. 8 Vrtuľník Praga XE-II OK v Praze 27.4.1951 pilotovaný Františkom Jančom.

Ďalším veľmi úspešným strojom bol viacúčelový až sedemmiestny HC-3 (obr. 10 [22]). K jeho plnej sériovej výrobe nedošlo, aj keď dosahoval kvalít zahraničných výrobcov a uvažovalo sa o rôznych variantoch, ako napr. bojová verzia.



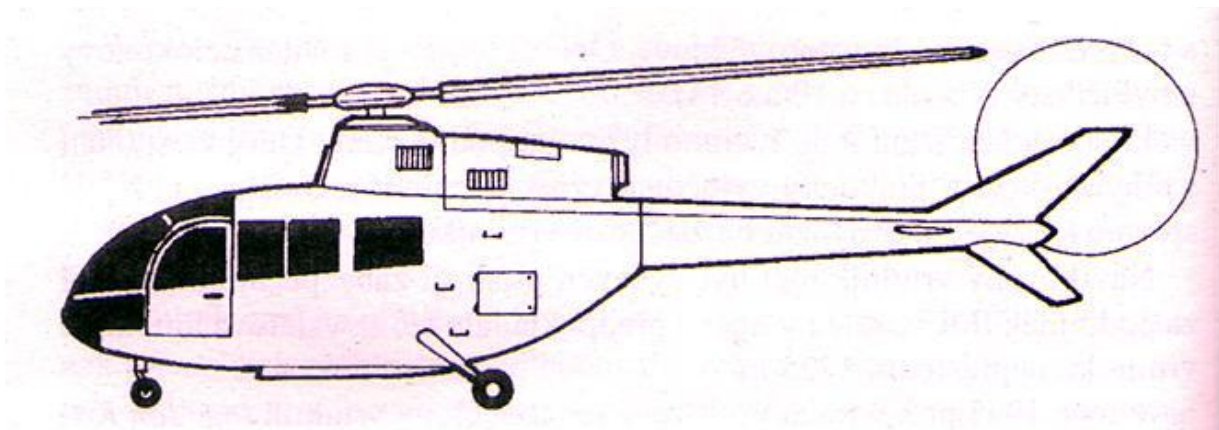
Obr. 9 HC-2 „Heli Baby“



Obr. 10 HC-3

Ďalší zaujímavý projekt pochádzal od skupinky nadšencov z podniku Moravan. Tí navrhli vrtuľník XZ-35, a upravený model zo silnejším motorom XZ-135. Napriek dobrým letovým vlastnostiam bol aj tento projekt zrušený.

Vrtuľník HC-4 (obr. 10 [20]) mal byť vrcholom projektovania konštruktérov. Bol to viacúčelový vrtuľník, ktorý mal byť zhotovovaný vo variantoch spojovací, sanitný, cvičný, nákladný, výsadkový a bojový. Existovala rozpracovaná verzia HC-4B, ktorá mala mať zúžený trup a iba dva miesta v tandemovom usporiadaní, no o to viac vojenskej výzbroje. Tento typ sa dostal do fázy výroby prototypu, žiaľ, opäť neúplnej, keďže pred dokončením bol projekt zastavený a zrušený. Bolo to spôsobené hlavne kooperáciou a integráciou Československa medzi štáty RZHP, čo malo za následok presun stavby vrtuľníkov do Poľska a Sovietskeho zväzu. Je nutné spomenúť okrem závodných projektantov aj amatérskych konštruktérov vrtuľníkov v Československu po druhej svetovej vojne. Boli nimi najmä Ing. Horák a jeho jednomiestny vrtuľník, E. Steiner, J.Rücker so svojou hopikoptérou.



Obr. 11 HC-4

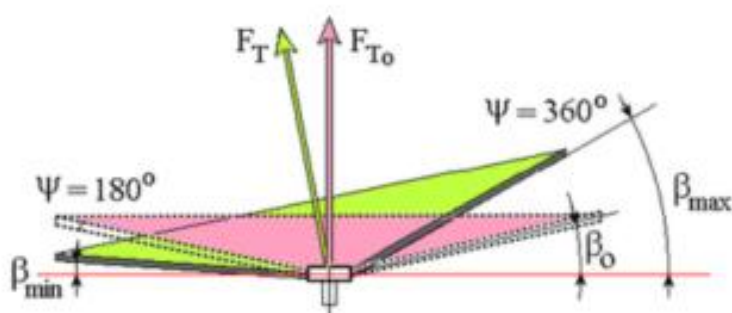
Krátko po páde komunistického režimu začal pracovať Ing. Námisňák na vývoji svojho vrtuľníku. Prvý model bol testovaný v roku 1993. Následným vylepšovaním modelu a neskôr aj prototypov vznikol model Na-40 Bongo a následne Na-542. [3][4]

3. Princíp lietania a hlavné časti vrtuľníku

Vrtuľník je motorový stroj ťažší ako vzduch, ktorý je schopný lietať všetkými smermi a visieť vo vzduchu. U klasického lietadla sú nosné plochy (krídla) pripevnené pevne k trupu a aerodynamická vztlková sila je získavaná rýchlym obtekaním vzduchu, na ktorý stačí iba horizontálny pohon. U helikoptér má na svedomí tak ako horizontálnu, tak aj vertikálnu ťahovú silu, rotujúci jeden alebo viacero nosných rotorov. Momentálne sa využívajú vrtuľníky s maximálne dvoma rotormi. To má za následok, že môžu v podstate pristávať a vzlietať na plochách o málo väčších ako je priemer nosného rotora. Zároveň ale nemôžu dosiahnuť rýchlosti letu ako u lietadiel vďaka zložitej aerodynamike a ich konštrukcia a ovládanie sú značne zložitejšie. Pilot vrtuľníku musí koordinovať obe ruky a nohy na ovládanie stroja, dbať na omnoho väčší vplyv poveternostných podmienok ako u lietadiel a na spomalenú reakciu na ovládanie.

Pre popis princípu lietania použijeme Juriejovu koncepciu, ktorá navrhuje vrtuľník z jedným nosným rotorom a jedným vyrovnávacím rotorom. Pre zmenu pohybu, či už ide o smer, rýchlosť, prípadne výšku sa využívajú kormidlové plochy, ktoré sú reprezentované u helikoptér nosným rotorom a vyrovnávacím rotorom. Zmenou polôh listov rotorov, ktorú zaoštaráva systém riadiacich prvkov, je možné meniť dráhu letu. Tento systém pozostáva z ovládania nosného rotora pomocou páky kolektívneho riadenia, páky cyklického riadenia a otočnou rukoväťou na reguláciu otáčok motoru a tým aj nosného rotora. Vyrovnávací rotor sa ovláda pedálmi smerového riadenia.

Pre pohyby do strán sa využíva cyklické riadenie nosného rotora. V režime letu vistenie, majú všetky listy rotorov zhodný uhol nastavenia φ_0 a uhol vymávnutia β_0 . Cyklické riadenie mení uhol nastavenie listov rotora φ v závislosti na azimutálnej polohe listov ψ . Tým sa mení aj uhol vymávnutia β , ktorý je daný uhlom nastavenia φ v závislosti na ψ . Má to za následok natočenie disku nosného rotora a tým aj smer vektoru ťahu nosného rotora, čo umožňuje pohyb dopredu a do strán (obr. 12 [2]). Cyklická zmena sa nazýva ja krídielkovanie, podľa typického pohybu listov.



Obr. 12 Náklon disku nosného rotoru

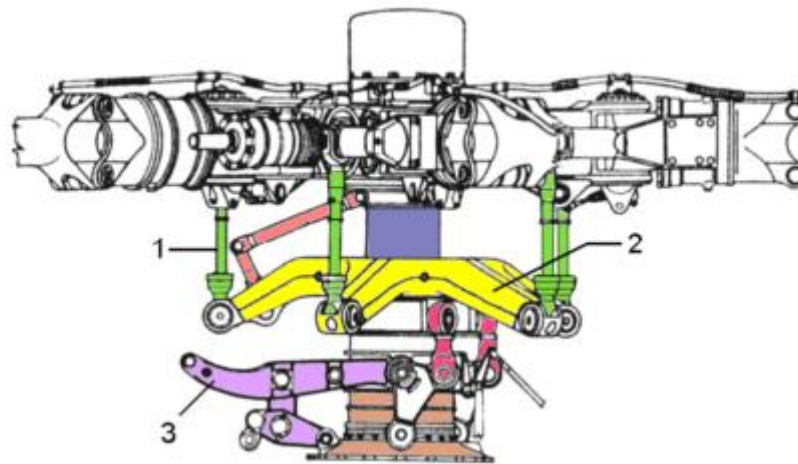
Pre pohyb hore alebo dole sa využíva systém kolektívneho riadenia. Tento systém mení uhol nastavenia φ na všetkých listoch rovnako. Táto zmena vyvoláva aerodynamický odpor a zmenu ťahu nosného rotora v smere osi rotora. Funkciou kolektívneho riadenia sú kolektívna zmena nastavenia uhlu listov nosného rotora a ovládanie výkonu motoru. Ak je vrtuľník vybavený pohyblivými stabilizátormi ovládajú sa tiež kolektívnym riadením.

Na uskutočnenie zmien obidvoch uvedených riadení sa využívajú najčastejšie tieto tri konštrukčné spôsoby: 1. šikmá doska

2. pavúk

3. výstredníková doska.

Šikmá doska (obr.13 [2]) je vôbec najstarším a najvyužívanejším spôsobom ovládania listov rotorov. Nachádza sa pod rotorovou hlavou s osou totožnou s osou hriadeľa rotoru. Skladá sa z dvoch rovnobežných častí, z ktorých je jedna nepohyblivá (spojená s pákami riadenia) a druhá pohyblivá (otáča sa s rotorom a je spojená s listami rotorov cez tiahla a s pákami ovládania listov). Tanier cyklického riadenia, ako je tiež možné nazvať šikmú dosku, sa musí dokázať pohybovať v smere osi hriadeľa, aby mohol kolektívne meniť uhol nastavenia listov, ale tiež vychýľovať sa o určitý uhol v priečnom aj pozdĺžnom smere, aby mohol vykonávať cyklickú zmenu. Kvôli týmto príčinám musí byť šikmá doska uložená na kardanovom kĺbe.



Obr. 13 Rotorová hlava Mi-24.

1-Tiahla ovládania, 2-Tanier cyklického riadenia, 3-Páka kolektívneho ovládania listov [2]

Pavúk je zariadenie na ovládanie rotoru, kde sa cyklická zmena dosahuje naklonením v kĺboch, ktoré sa nachádzajú v rovine pák ovládania listov. Kolektívna zmena sa uskutočňuje nadvihnutím celého mechanizmu.

Výstredníková doska je málo využívaný systém ovládania, ktorý navrhol Ing. Šlechta, a bol použitý na strojoch československého pôvodu.

Na vyrovnanie reakčného momentu, ktorý vzniká ako reakcia na krútiaci moment rotoru (akciu), sa využíva vyrovnávací rotor. Vyrovnávací rotor je súčasťou smerového riadenia. Okrem kompenzácie momentu, slúži na ovládané otáčania okolo zvislej osi.

Stabilita vrtuľníku sa dá posilniť navrhnutím zvislých a vodorovných chvostových plôch, nazývaných tiež stabilizátory. Stabilizátory môžu byť pohyblivé alebo pevné. Pohyblivé sa ovládajú zároveň s kolektívnym riadením. Čo umožňuje zvyšovať hmotnosť stroja, ale zároveň komplikuje ovládací systém vrtuľníku.

Okrem spomenutých riadiacich systémov sú dôležité súčasti vrtuľníka ešte pohonný systém, rotorový systém, chvostový systém, výstroj, pristávacie zariadenie a trup [1].

4. Rozdelenie vrtuľníkov

4. 1. Rozdelenie podľa počtu rotorov a ich umiestneniu

Nosný rotor je neodmysliteľnou súčasťou každého vrtuľníku. Svojou rotáciou premieňa mechanickú energiu na aerodynamickú silu, ktorá umožňuje lietať týmto strojom. Podľa jeho umiestnenia a počtu vrtuľníky delíme na:

- jednorotorové
- koaxiálne
- tandemové
- priečne
- s prelínajúcimi sa rotormi
- viacrotorové

4. 1. 1. Jednorotorové usporiadanie

Pri tejto koncepcii usporiadania rotorov, ktorá je najrozšírenejšia vo svete (približne tri štvrtiny z celkového počtu) je použitý jeden nosný rotor. Na vyrovnanie reakčného momentu sa využíva zariadenie umiestnené na chvoste vrtuľníku. Toto usporiadanie má veľa výhod, ako jednoduchosť transmisie, menej zložitú ovládaciu sústavu a tým pádom aj nižšie náklady na údržbu a nižšiu nákupnú cenu. Jednorotorové vrtuľníky sa vyrábajú vo všetkých váhových kategóriách.[1]

V tabuľke (tab. 1 [11][3]) je uvedené porovnanie vrtuľníkov tejto kategórie.

Tab. 1 Prehľad vybraných jednorotorových vrtuľníkov

Označenie stroja	Výrobca	Krajina pôvodu	Cestovná rýchlosť [km/h]	Vzletová hmotnosť	Počet miest	Dolet [km]
Agusta A 119 KOALA	AgustaWestland Company	Taliansko	260	2850	1+6	655
Ka-62M	Kamov	Ruská Federácia	275	6500	2+14	655
Mi-26P	Mil	ZSSR	255	56000	3+63	590
Masquito M80	Masquito aircraft n.v.	Belgicko	148	450	2	600
BELL 206L-4 Longranger IV Gemini ST	BELL Helicopter Textron Canada	Kanada	204	2018	2+5	600
NA 40 BONGO	NA Desingn	Česká republika	250	950	2	500
Brantly B-2B	Brantly Internatinal INC	USA	144	757	2	353
Enstrom 280FX	The Enstrom Helicopter Corporation	USA	172	1179	1+2	483
MD 600N	MD Helicopters INC	USA	248	1859	2+6	633
Sikorsky S-76A	Sikorsky Aircraft, Division of United Technologies Corporation	USA	232	4399	2+12	742

4. 1. 2. Koaxiálne usporiadanie rotorov

U tohto usporiadania sú dva opačné otáčajúce sa rotory umiestnené nad sebou (obr. 14 [19]). Reakčný moment spôsobený jedným rotorom eliminuje reakčný moment rotoru točiaceho sa opačným smerom. Vďaka tomuto vzájomnému vyrušeniu reakčných momentov vrtuľník nepotrebuje zariadenie na vyrovnávanie tohto nežiadaneho momentu. Toto prevedenie umožňuje znížiť hmotnosť, keďže chvostový nosník nemusí byť ani tak dlhý ani tak silný ako u jednorotorových vrtuľníkov, pretože sú na ňom pripevnené len chvostové plochy určené na stabilizáciu vrtuľníku pri lete dopredu. Medzi výhody patrí nižšia hmotnosť, zníženie pôdorysnej veľkosti a neodoberanie výkonu nosnému rotoru vyrovnávacím rotorom. Nevýhodou je pomerne veľká výška vrtuľníku, spôsobená veľkou výškou rotorovej hlavy, podmienená nutnosťou väčšej vzdialenosti rotorov (aby pri mávaní do seba nenarazili). Vzájomné ovplyvnenie rotorov má za následok zníženie účinnosti rotorov. Medzi nevýhody patrí aj komplikovanosť pohonu a riadenia. Najväčším producentom vrtuľníkov s koaxiálnym usporiadaním je ruská konštrukčná kancelária Kamov. V tabuľke (tab. 2[11][3]) sú uvedené niektoré modely helikoptér tejto koncepcie. [2][1]



Obr. 14 Ka-115 "Moskvichka" s koaxiálnym usporiadaním rotorov

Tab. 2 Prehľad vybraných koaxiálnych vrtuľníkov

Označenie stroja	Výrobca	Krajina pôvodu	Cestovná rýchlosť [km/h]	Vzletová hmotnosť	Počet miest	Dolet [km]
Kamov Ka-25K	Kamov	Ruská Federácia	193	7300	2+12	400
B-1	Brantly	USA	182	907	2	640
Kamov Ka-115 "Moskvichka"	Kamov	Ruská Federácia	230	1850	1+5	780
G-II	Bréguet	Francúzsko	173	2100	1+2	470
FJ-V2	Wagner	Nemecká spolková republika	140	1500	1+1	200

4. 1. 3. Tandemové usporiadanie rotorov

Tandemové usporiadanie rotorov (obr. 15 [20]) znamená, že dva nosné rotory vrtuľníku sú umiestnené za sebou v pozdĺžnom smere. Toto rozmiestnenie rotorov sa najčastejšie využíva u ťažkých vrtuľníkov. Vďaka protiúdcemu otáčaniu rotorov nevzniká reakčný moment, čo umožňuje premeniť všetok výkon motorov na ťah. Ďalšou výhodou je menšia citlivosť na pohyb ťažiska a lepší pomer užitočného zaťaženia ku celkovej hmote. Nevýhodou tohto usporiadania je zložitosť transmisie, keďže pohony oboch nosných rotorov musia mať rovnaké otáčky. V prípade, že sa rotory prekrývajú, je potrebná synchronizácia otáčok, aby sa zabezpečilo nepoškodenie listov pri vymávaní jedného z rotorov do roviny druhého. V neprospech je aj náročné ovládanie dvoch nosných rotorov ako jedného celku. Medzi nevýhody sa dá zaradiť aj nepriaznivé ovplyvňovanie rotorov, ktoré je možné vyriešiť umiestnením zadného rotora do väčšej výšky ako sa nachádza predný rotor. Pri vysadení jedného z rotorov je nevyhnutné vypnutie aj druhého rotora, aby sa mohol stroj dostať do režimu autorotácie. V tomto režime je aj značne zvýšená náročnosť ovládania helikoptéry pri pristávaní. V tabuľke (tab.3 [11][3]) je zobrazený prehľad vrtuľníkov tejto kategórie. [1]

Tab. 3 Prehľad vybraných tandemových vrtuľníkov

Označenie stroja	Výrobca	Krajina pôvodu	Cestovná rýchlosť [km/h]	Vzletová hmotnosť	Počet miest	Dolet [km]
107 Model II	Boeing-Vertol	USA	241	9707	2+25	1097
Jak-24	Jakovlev	ZSSR	155	14270	2+20	265
Bell 61*	Bell	USA	160	12000	2+18	570
Bristol 192*	Bristol	Veľká Británia	180	8168	2+18	915
Boeing-Vertol 114*	Boeing-Vertol	USA	241	12882	2+44	1500

* Stroje primárne vojenského určenia



Obr. 15 Bristol 192 Belvedere HC.1

4. 1. 4. Priechne usporiadanie rotorov

Pri tejto koncepcii umiestnenia rotorov sa rotory nachádzajú na nosníkoch kolmých na pozdĺžnu os vrtuľníku (obr. 16 [21]). Pri tejto konštrukcii helikoptér sa nevyskytuje výsledný reakčný moment vďaka opačnému smeru otáčania listov každého z rotorov. Nosníky môžu slúžiť tiež ako krídla, čím znižujú záťaž rotorov pri lete dopredu. Umiestnenie motorov na krídla znižuje hladinu hluku v kabíne. Výhody strojov tohto typu sú aj priečna stabilita a pozdĺžna stabilita pri lete vpred, ktorá sa dosiahne pridaním horizontálnych plôch na chvostový nosník. Rotory sa navzájom neovplyvňujú a tým rastie hospodárnosť, čo má za následok možnosť dlhšieho doletu. Nevýhody vrtuľníkov vyplývajúce z priečného umiestnenia rotorov sú rozmerovo veľká konštrukcia, ktorá má za následok veľkú váhu stroja, čo zapríčiňuje komplikovanosť ovládania stroja. [1]

Medzi najznámejšie stroje s týmto usporiadaním patria napríklad nemecký Fa-223 (obr. 16 [26]) alebo ruský Mi-12, čo je doposiaľ najväčší vrtuľník, ktorý sa vzniesol. Aj keď sa nedostal do sériovej výroby, ale bol zhotovený prototyp (obr. 17 [11]).



Obr. 16 Fa-223 Drache



Obr. 17 Mi-12

4. 1. 5. Usporiadanie s prelínajúcimi sa rotormi

Vrtuľníky tohto druhu predstavujú predel medzi strojmi s priečne umiestnenými a koaxiálne uloženými rotormi. V prospech tejto konštrukcie hovoria dobre letové vlastnosti a relatívne menšie rozmery. Prenosová sústava výkonu motora na rotory je kratšia.

Prekrývajúce rotory je nutné synchronizovať, aby nedošlo ich poškodeniu. Ďalšou nevýhodou týchto strojov je zložitosť ovládacích a pohonných zariadení. Aby sa listy rotoru nedotkli zeme alebo neohrozovali posádku, je nutné posadiť rotory do väčšej výšky, čím sa zväčšila celková stavebná výška vrtuľníku. Vďaka opačne otáčajúcim sa rotorom sa horizontálne zložky reakčných momentov eliminujú, čo umožňuje absenciu vyrovnávacieho rotoru. V rovine súmernosti sa vzniknuté reakčné momenty nerušia, ale sčítavajú, čo spôsobuje pri rýchlych prechodoch medzi jednotlivými letovými režimami zvýšenie klopných momentov. Umiestnenie motora a časti transmisie je väčšinou v tele vrtuľníku, čo má za následok zvýšenie hlučnosti v kabíne. Momentálne najväčším výrobcom helikoptér s prelínajúcimi sa rotormi je firma Kaman s reprezentujúcim sa modelom K 1200 K-MAX (obr. 18 [22]).



Obr. 18 Kaman K 1200 K-MAX

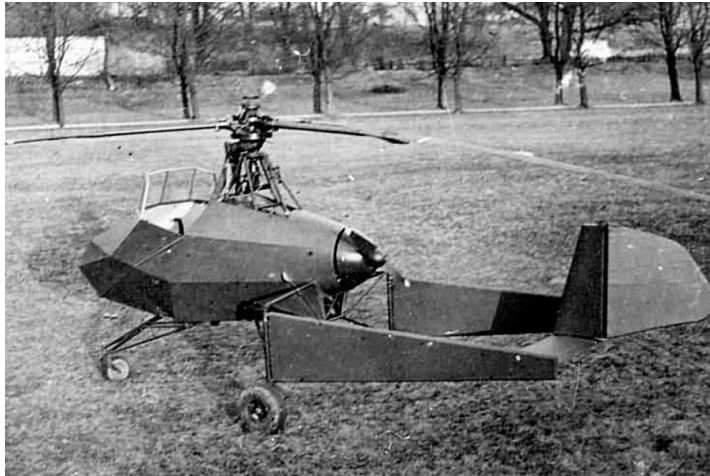
4. 1. 6. Viacrotorové vrtuľníky

Vrtuľníky s väčším počtom rotor sú v súčasnej dobe iba myšlienkové projekty.

4. 2. Rozdelenie podľa spôsobu vyrovnávania sa s reakčným momentom

Vrtuľníky môžeme deliť podľa spôsobu vyrovnania sa s reakčným momentom na dve základné skupiny.

Prvou skupinou sú stroje, u ktorých nevzniká od nosného rotora reakčný moment. Ide o helikoptéry s reaktívnym pohonom rotorových listov. Medzi vrtuľníky tejto kategórie patrili Doblhoff WNF 342 z roku 1943 (obr. 19 [23]) a McDonnell XV-1 (obr. 20 [30]) . [1][24]



Obr. 19 Doblhoff WNF 342



Obr. 20 McDonnell XV-1

Druhú skupinu tvoria vrtuľníky, u ktorých sa vyskytuje reakčný moment od nosného rotoru. U dvojrotorových helikoptér sa eliminuje tento moment protiúdcím otáčaním rotorov. Jednorotorové vrtuľníky sa vyrovnávajú s reakčným momentom pomocou vyrovnávacieho rotoru, alebo systému NOTAR. [2]

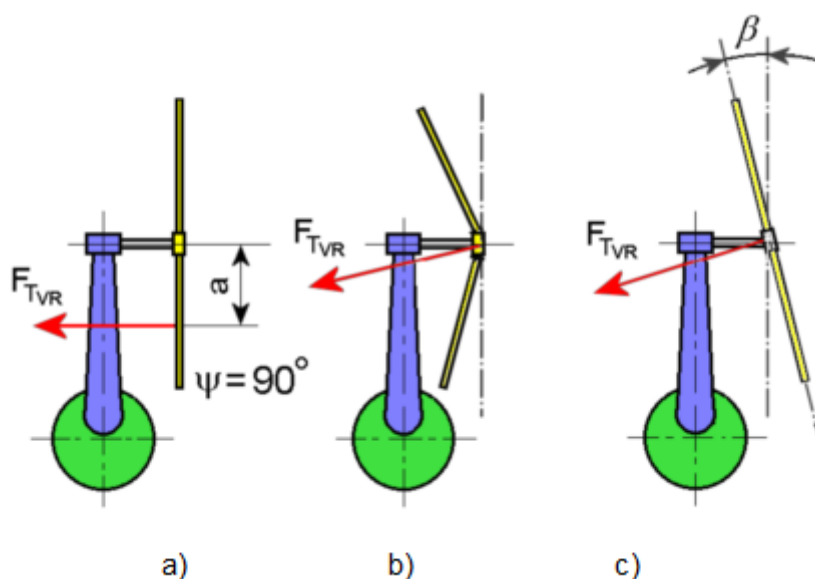
Vyrovnávací rotor

Vyrovnávací rotor je najbežnejšie využívaná koncepcia. Na vznik ťahovej sily vyrovnávacieho rotoru sa využíva rovnaký princíp ako u nosného rotoru. Na vrtuľníku môže byť vyrovnávací rotor ťažný alebo tlačný. Rozšírenejší je variant tlačného rotoru nachádzajúceho sa na pravej strane, ktorý má väčšiu aerodynamickú účinnosť a menší vplyv vzdušných prúdov na zaťaženie chvostového nosníka. Toto usporiadanie má výhody ako energetickú účinnosť, jednoduchosť riadenia, nižšie náklady na prevádzku. Nevýhodou je odber výkonu nosnému rotoru na pohon vyrovnávacieho rotoru (8% - 20% v závislosti na režime letu), sťažaná ovládateľnosť pri niektorých režimoch letu a menšia možnosť posuvu ťažiska celého vrtuľníku. Najväčší problém tejto koncepcie je zvýšená hodnota hladiny zvuku. Má to na svedomí turbulентné prúdenie vzduchu, ktoré vytvára nosný rotor a pretínajú ho listy vyrovnávacieho rotoru.

Rotorová hlava, listy, a zariadenia sprostredkujúce zmenu uhla nastavenia listov sú základné časti tohto mechanizmu. Podľa stavby sa rozdeľujú na vyrovnávacie rotory:

- s tuhým upevnením listov
- s kĺbovým zavesením listov
- s kardanovým upevnením
- v prstenci.

U vyrovnávacieho rotoru s tuhým upevnením listov (obr. 21a [2]) je rotor umiestnený na hriadeli koncového reduktora. Pre správnu funkciu musí byť v určitej vzdialenosti od koncového nosníku, čo má za následok zaťaženie listov a koncového reduktora veľkým ohybovým momentom. Eliminácia tohto problému je uskutočňovaná kĺbovým uložením listov.



Obr. 21 Vyrovnávacie rotory a) s tuhým upevnením listov, b) s kĺbovým uložením listov, c) s kardanovým upevnením

Vyrovnávajúce rotory s kĺbovým zavesením listov (obr. 21b [2], obr. 22 [25]) majú listy pripojené pomocou vodorovných a osových závesov. Na zmenu ťahu rotoru sa využívajú osové závesy. Vodorovné závesy, alebo tiež vztlakové, sa konštruujú pre odľahčenie listov a hriadeľa od ohybového momentu.



Obr. 22 Vyrovnávací rotor stroja Eurocopter Puma AS332 L1

Vyrovnávacie rotory s kardanovým upevnením (obr. 21c [2], obr. 23 [26]) sa vyznačujú hlavou, ktorá tvorí kardanový záves. V tomto zavesení sa listy nenatáčajú každý samostatne, ale spoločne ako keby tvorili jeden celok, a popritom ostávajú v rovine otáčania. Kardanový záves má menšie vibrácie a zaťaženie chvostového nosníka, ale zase väčší ohybový moment ako kĺbový záves.



Obr. 23 Vyrovnávací rotor vrtuľníku Bo 105

Fenestron (obr. 24 [27]) je vyrovnávací rotor v prstenci. Prvý let vrtuľníku s týmto systémom vyrovnávania vzlietol roku 1968 na vrtuľníku francúzskej výroby SA – 341 „Gazelle“. Výhodou tohto ústrojenstva je, že pri rovnakom vyrovnávacom účinku potrebuje iba 70% výkonu ako nekrytý vyvažovací rotor.

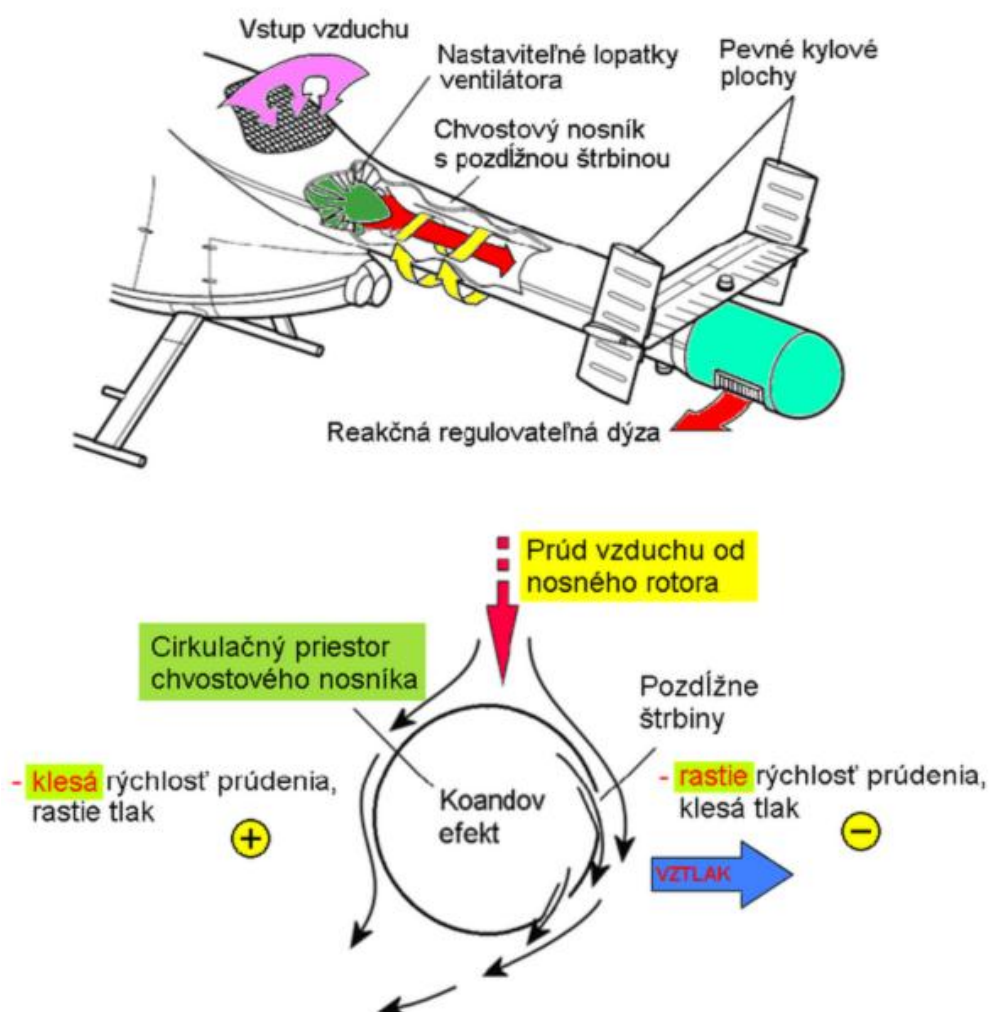


Obr. 24 Fenestron stroja Eurocopter EC-145 T2

NOTAR

V roku 1991 podnik Mc Donnell uviedol prvýkrát vrtuľník so systémom NOTAR. Je to skratka troch anglických slov No Tail Rotor, čo sa prekladá ako helikoptéra „bez chvostového rotora“. Tento systém vyvažovania funguje na základe ovládania prietoku vzduchu prichádzajúceho dutým chvostovým nosníkom od ventilátora, ktorý je poháňaný motorom helikoptéry. Asi sedemdesiat percent plynu prechádza tangenciálnymi otvormi na jednej strane vrtuľníku. Vďaka tomu sa zvýši rýchlosť vzduchu privádzaného od nosného rotora na strane štrbiny. Na opačnej strane sa následkom rotácie vzduchu okolo chvostového nosníka rýchlosť indukovaného vzduchu od nosného rotora spomalí (obr. 25 [2]). Podľa Bernoulliho rovnice, čím viac sa zvýši rýchlosť obtekania, tým viac klesá tlak a naopak. Rozdielne tlaky na stranách majú za následok vznik vztlakovej sily, ktorá dokáže eliminovať väčšinu reakčného momentu. Zvyšných približne 30 percent vzduchu putuje do regulačnej dýzy, ktorá svojím reakčným účinkom mierne ovplyvňuje vyrovnaný stav okolo osi nosného rotora. Mieru ovplyvnenia a tým aj smer vrtuľníku ovláda pilot z kabíny.[2]

Medzi výhody patrí kompaktnosť helikoptéry, menšia váha vrtuľníku, znížený vplyv bočného vetru na smerové ovládanie. Veľkou prednosťou tejto konštrukcie je tiež zníženie hluku a vibrácií, ktoré mal na svedomí vyrovnávací rotor.



Obr. 25 Princíp vyvažovania pomocou systému NOTAR

Tab. 4 Prehľad niektorých vrtuľníkov s rôznym riešením vyrovnávania sa s reakčným momentom [3][11]

Označenie stroja	Výrobca	Krajina pôvodu	Cestovná rýchlosť [km/h]	Vzletová hmotnosť	Počet miest	Dolet [km]	Spôsob vyrovnávania sa s reakčným momentom
Aérospatiale SA 360 Dauphin	Société Nationale Industrielle Aérospatiale	Francúzsko	265	2800	2+8	650	Fenestron
EC-155B*	Eurocopter	EU	267	4850	2+14	785	Fenestron
MD 500E	MD Helicopters INC	USA	248	1361	1+4	431	Notar
Bo-105**	MBB*	Nemecko	270	2400	2+4	685	Kardanové zavesenie
Mi 17P**	Mil*	ZSSR	240	13000	2+24	465	Kĺbové zavesenie

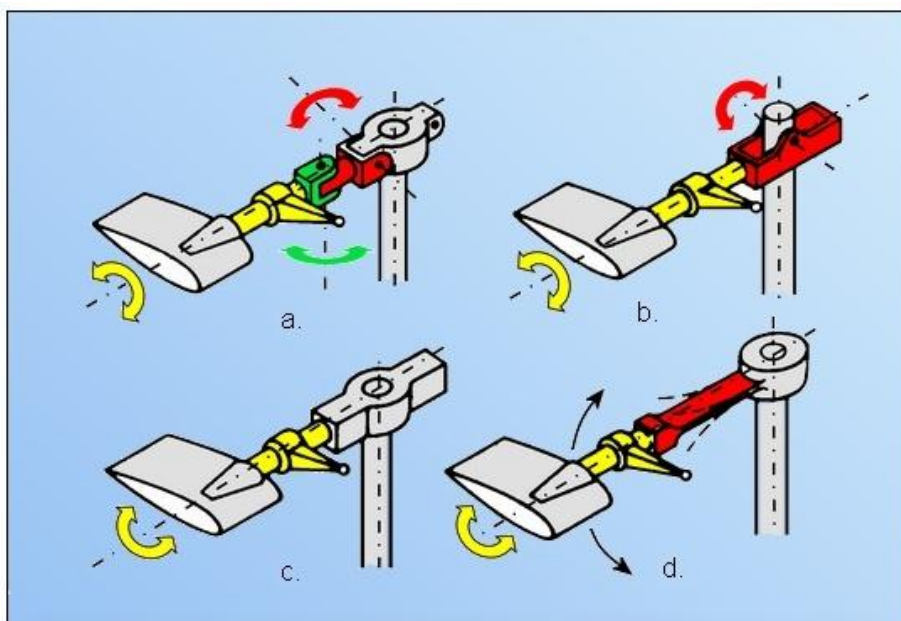
4. 3. Rozdelenie vrtuľníkov podľa rotorových hláv

Jednou z najhlavnejších častí každého vrtuľníku je nosný rotor, ktorý má tri základné úlohy. Vznik aerodynamickej a propulzívnej sily sú prvé dve úlohy. Treťou je možnosť riadenia a stabilizácie stroja. Každý nosný rotor musí plniť aerodynamické, dynamické, pevnostné, technologické a prevádzkové nároky.

Nosný rotor pozostáva z hlavy rotora a listov. Hlavy rotorov delíme na základe typu uchytenia listov k hlave a stavby koreňa listu na:

1. tuhé rotory (obr. 26c,d [2])
2. polotuhé rotory (obr. 26b [2])
3. kĺbové rotory (obr. 26a [2])

U niektorých nových vrtuľníkov sa môže vyskytnúť aj spojenie spomenutých druhov v jednom rotore.



Obr. 26 Druhy upevnenia listov k hlave a) kĺbové b) polotuhé c),d) tuhé

4. 3. 1. Tuhé rotory

Táto koncepcia (obr. 27 [28]) je najstaršia zo všetkých uvedených druhov upevnenia listov k rotoru. Listy sú pripevnené k hlave iba pomocou osového závesu, ktorý má za úlohu umožňovať krídielkovanie. Vztlakový a odporový záves v tejto konštrukcii chýbajú, čo má za následok zvýšenie ohybových momentov v koreni listu. Tento problém sa rieši návrhom štíhlych tvarov listov pri koreni zúženom z kompozitných materiálov s uhlíkovými a skleníkovými vláknami. Ohybnosť týchto materiálov kompenzuje nutnosť vodorovného a zvislého závesu.

Veľkou nevýhodou tohto riešenia upevnenia listov je klopivý moment ako výsledok nesymetrickej záťaže postupujúceho a ustupujúceho listu, ktorý viedol v minulosti k pádom vrtuľníkov pri pokuse o let dopredu.

Jednoznačnou výhodou je jednoduchosť tejto konštrukcie. Vrtuľníky s tuhými rotormi nie sú citlivé na umiestnenie ťažiska vďaka stabilizačným účinkom tuhým listov. Helikoptéry tejto stavby sú schopné letieť dolu hlavou.[1][2]



Obr. 27 Tuhý rotor stroja Eurocopter EC725 Caracal

4. 3. 2. Polotuhé rotory

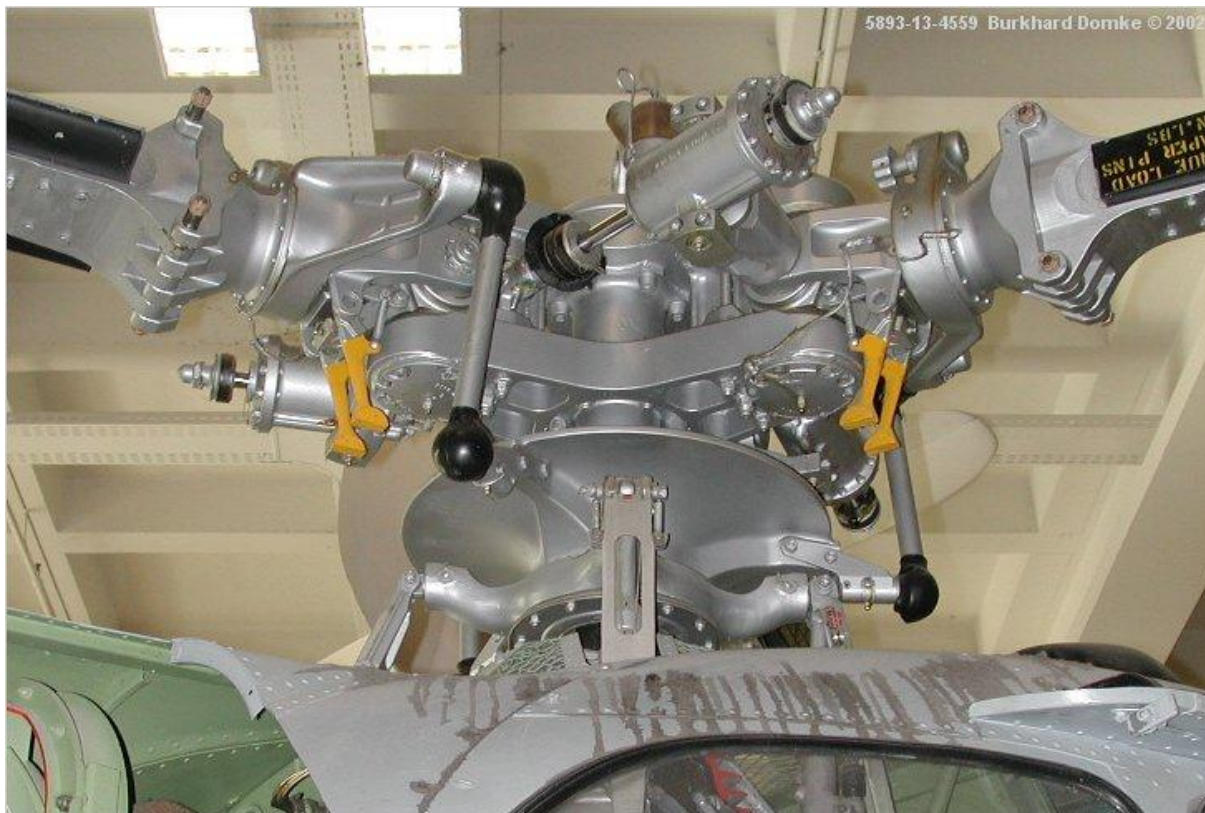
Polotuhé rotory (obr. 28 [28]) je pomenovanie konštrukcie, kde je rotorová hlava pripevnená k hriadeľu motora horizontálne umiesteným čapom, čo poskytuje možnosť mávaniu listov. Sú to väčšinou dvojlistové rotory, kde sú oba listy upevnené tak, že sa môžu nezávisle na sebe krídielkovať. Tento typ rotorov je najviac vhodný pre malé helikoptéry. U veľkých strojov je tento typ rotorov menej vhodný, keďže by listy museli mať veľkú hĺbku, aby mali listy potrebnú plochu.



Obr. 28 Polotuhý rotor stroja Robinson R-22

4. 3. 3. Kíbové rotory

Kíbové rotory (obr. 29 [28]) obsahujú hlavu pevne uchytenú k hriadeľu, ku ktorej sú prichytené listy osovým, vztlakovým a aj zvislým závesom. Tento variant sa uplatňuje u všetkých rotorov, ale najmä u troj a viac listých rotorov.

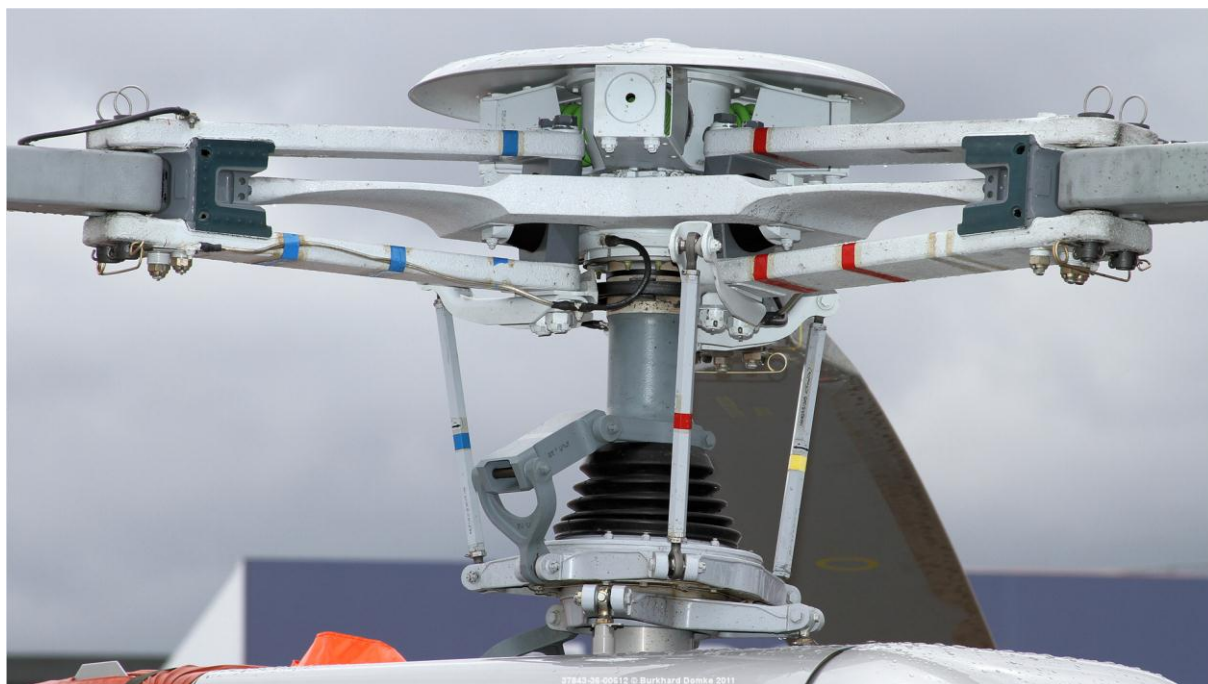


Obr. 29 Kíbova rotorová hlava stroja Sikorsky H-19 Chickasaw (S-55)

Osi vztlakových závesov sú vo väčšine prípadov kolmé na os otáčania rotoru. Vztlakový záves umožňuje mávanie (preto sa mu hovorí aj mávací záves), čím znižuje zaťaženie listu nosného rotoru. Tento záves musí mať dorazy pohybu listov. Spodný doraz má zabezpečiť, aby sa listy pri brzdení, zastavení, a rozbehu rotoru nedotkli zeme alebo vrtuľníku, a zabezpečiť bezpečie obsluhujúcemu personálu. Tento doraz je u malých helikoptér napevno. U strojov s veľkým priemerom listov sa využívajú odstredivé dorazy. Horný doraz sa u niektorých vrtuľníkov nevyskytuje. Má zabrániť vymávnutiu vplyvom vetra pri roztáčaní sa rotoru. Vzdialenosť osí hrá významnú úlohu pri letových vlastnostiach, čím sa vzdialenosť medzi nimi predlžuje, tým narastá efektívnosť ovládania.

Zvislý záves umožňuje listom rotoru vykonávať kývanie. Jeho os je rovnobežná s osou otáčania. Každý zvislý záves musí byť vybavený tlmičom kývania, aby znižoval energiu kmitania a zabránil vzniku mechanickej nestability rotoru pri pristávaní, konkrétne pri dotyku stroja so zemou. Tento záves disponuje rovnako ako vztlakový dorazmi.

Ložiska v týchto závesoch sú veľmi namáhané vplyvom prenášania odstredivých síl a ťahu rotoru. Z toho dôvodu sú v dnešnej dobe nahradzované klasické radiálne a axiálne ložiska ložiskami elastomernými (obr. 30 [28]), ktoré kladú menšie požiadavky na servis.



Obr. 30 Použitie elastomerného ložiska na stroji Eurocopter AS355

4. 4. Rozdelenie podľa vzletovej hmotnosti

Medzi jedno zo základných delení patrí delenie podľa hmotnostného kritéria, konkrétne na základe vzletovej hmotnosti vrtuľníku. Delíme ich na:

1. Ľahké
2. Stredné
3. Ťažké.

Tab. 5 Prehľad rozdelenia vrtuľníkov podľa vzletovej hmotnosti

Kategória vrtuľníku	Vzletová hmotnosť [kg]		Počet osôb
	Od	Do	
Ľahký		2500	do 8
Stredný	2500	8000	do 16
Ťažký	8000	Neobmedzene	od 16

Je potrebné zdôrazniť, že toto delenie je v dnešnej dobe nevyhovujúce. Vyhovujúcejšie, päťstupňové delenie, nie je normované.[1]

4. 4. 1. Ľahké vrtuľníky

Do tejto kategórie spadajú vrtuľníky so vzletovou hmotnosťou do 2500Kg. Priestor kabíny je usporiadaný pre 6-8 ľudí, medzi ktorých sa ráta aj pilot stroja. [1]

V tabuľke je uvedený prehľad vrtuľníkov tejto hmotnostnej kategórie. [3][11]

Tab. 6 Prehľad niektorých vrtuľníkov ľahkej hmotnostnej kategórie

Označenie stroja	Výrobca	Krajina pôvodu	Cestovná rýchlosť [km/h]	Vzletová hmotnosť	Počet miest	Dolet [km]
Bell Model 206B "Jet Ranger III"	Bell	USA	216	1454	5	608
Mi-34	Mil	ZSSR	170	1280	4	356
Robinson R44	Robinson Helicopter Company	USA	209	1088	1+3	643
SA-315B "Lama"	Aerospatiale	Francúzsko	120	2300	1+4	515
NA40 Bongo	NA Design	Česká republika	250	950	2	500

4. 4. 2. Stredné vrtuľníky

Medzi vrtuľníky tejto kategórie patria stroje, ktorých vzletová hmotnosť prekračuje 2500 kg a pritom je nižšia ako 8 ton. Tieto stroje prepravujú maximálne 16 pasažierov, vrátane obsluhy helikoptéry. [1]

V tabuľke je uvedený prehľad vrtuľníkov tejto hmotnostnej kategórie. [11][3]

Tab.7 Prehľad niektorých vrtuľníkov strednej hmotnostnej kategórie

Označenie stroja	Výrobca	Krajina pôvodu	Cestovná rýchlosť [km/h]	Vzletová hmotnosť	Počet miest	Dolet [km]
Mi-2	Mil	ZSSR	200	3550	1-2+8	170
Ka-62M	Kamov	Ruská Federácia	275	6500	2+14	655
Ka-226	Kamov	Ruská federácia	192	3100	1+7	600
EC-155	Eurocopter	EU	267	4850	1+14	785
EC-145	Eurocopter	EU	252	3585	1-2+9	875
Sikorsky S-76 Mk.II	Sikorsky	USA	269	4672	2+12	748

4. 4. 3. Ťažké vrtuľníky

Ťažké helikoptéry sú stroje, ktorých vzletová hmotnosť je vyššia ako 8000 kilogramov. Horná hranica nie je stanovená. Doposiaľ najťažší stroj, ktorý vzlietol, bol vyrobený v sovietskom zväze konštrukčnou kanceláriou M. L. Mila. Jedná sa o stroj Mi-12. [1]

V tabuľke je uvedený prehľad vrtuľníkov tejto hmotnostnej kategórie. [3][11]

Tab. 8 Prehľad niektorých vrtuľníkov ťažkej hmotnostnej kategórie

Označenie stroja	Výrobca	Krajina pôvodu	Cestovná rýchlosť [km/h]	Vzletová hmotnosť	Počet miest	Dolet [km]
S-61N	Sikorsky	USA	241	8618	3+26	443
Mi-12	Mil	ZSSR	240	105000	6-10+50	800
Mi-10	Mil	ZSSR	220	43450	3+28	420*
Ka-32A	Kamov	ZSSR	230	12700	1-3+13	800
Boeing-Vertol 234	Boeing-Vertol	USA		21318	2+44	1010

* Dolet z užitočným zaťažením 8000kg

4. 5. Rozdelenie vrtuľníkov podľa typu pohonnej jednotky

Na základe pohonu vrtuľníkov sa rozdeľujú helikoptéry na stroje s reakčným pohonom a mechanickým pohonom.

4. 5. 1. Vrtuľníky s reakčným pohonom rotoru

Táto skupina obsahuje stroje, ktorých nosný rotor nie je priamo poháňaný krútiacim momentom motoru cez transmisiu. Stroje tohto typu sa vyznačujú absenciou reakčného momentu. Ďalšie výhody sú jednoduchosť spojená s nižšími výrobnými nákladmi, nižšie požiadavky na údržbu. V neprospech je nutnosť výroby a vytvárania návrhov netypických častí a znížené letových vlastností v režime autorotácie. Helikoptéry s týmto druhom pohonu sa delia na stroje, ktoré sú poháňané reakčným účinkom plynov a stroje, ktoré majú motory na koncoch listov nosných rotorov.

V prvej podskupine je roztáčaný nosný rotor pomocou výtoku plynov, poprípade vzduchu z trysiek, ktoré sa nachádzajú na koncoch listov (obr. 31 [29]). K tryskám sa privádza plyn cez duté listy pomocou kompresoru alebo iného aparátu nachádzajúcom sa v tele vrtuľníku. Nevýhodou sú vznikajúce hydraulické a tepelné straty vytvárajúce sa pri prechode plynu od kompresoru na koniec listov. [1]



Obr. 31 Výtoková tryska stroja SO-1221 „Djinn“

V druhej podskupine sa nachádzajú vrtuľníky, u ktorých je rotácia rotorov zabezpečená pomocou motorov nachádzajúcich sa na koncoch listov. Motory môžu byť piestové, prúdové, pulzačné, náporové alebo na stlačený vzduch. Veľké komplikácie spôsobuje v motoroch odstredivá sila spôsobená rotáciou. Preto sú najčastejšie používané motory raketové (obr. 32 [11]), pulzačné, náporové a na stlačený vzduch. Palivo sa privádza z nádrží umiestnených v trupe cez duté listy rotorov.



Obr. 32 Kellett KH-15 „Stable Mable“ s raketovými motormi na konci listov nosného rotoru

4. 5. 2. Vrtuľníky s mechanickým pohonom rotoru

U mechanicky poháňaných rotoroch je krútiaci moment motoru prenášaný transmisionou sústavou na hriadeľ rotoru. Podľa typu pohonnej jednotky môžeme deliť stroje na stroje s piestovým motorom a stroje so spaľovacou turbínou.

Piestové motory majú mnoho výhod, medzi ktoré patrí spoľahlivosť, bezpečnosť a hospodárnosť. Pohon týmto druhom má ale i mnoho nevýhod. Vďaka umiestneniu motora v trupe nedochádza k jeho ochladzovaniu, ako napríklad u lietadiel s motorom obtekaným vzduchom. Z tohto dôvodu je nutné vybaviť chladenie prídavným ochladzovaním (napríklad prídavný ventilátor), ktoré odoberá časť výkonu motoru. Ďalšie negatívne vlastnosti sú väčšia veľkosť tohto typu pohonu, vznik vibrácií a torzné kmity, ktoré sa podieľajú na nestálosti krútiaceho momentu motora. Piestové motory sú v poslednej dobe využívané a navrhované zväčša len pre stroje ľahkej kategórie.

V dnešnej dobe sa takmer výlučne využívajú k pohonu nosného rotoru spaľovacie turbíny. Vďaka menším rozmerom oproti piestovým motorom sa ľahšie zabudovávajú do vrtuľníkov. Pri tomto type pohonu nie je chladiace zariadenie potrebné. Tiež nie je potrebné elektrické zapáľovanie, ktoré je u piestových motorov najčastejšou závadou, a ohrievanie paliva pri štartovaní. Plynulý rozbeh turbíny vylučuje potrebnosť spojky. Z uvedených dôvodov klesá celková hmotnosť a zvyšuje sa výkonnosť motoru. Medzi výhody sa dá jednoznačne zaradiť to, že turbíny nepožadujú vysokú kvalitu paliva, teda ani špeciálny letecký benzín. Pilot nemusí regulovať otáčky, keďže u turbíny má automatické ovládanie. Medzi nevýhody sa zaraďuje vyššia spotreba paliva, náročná redukcia vysokých otáčok turbíny, závislosť výkonu na teplote, ktorý klesá so stúpaním teploty, a komplikovanosť prívodu vzduchu, respektíve odvodu spalín. Vysoká cena ukazuje tiež v neprospech turbín.

5. Možnosti vrtuľníkovej dopravy v Česku a na Slovensku

Vrtuľníky si našli veľké uplatnenie popri vojenskom aj v civilnom sektore. Helikoptéry poskytujú mnoho výhod, najmä možnosť pristávania a vzlietania na relatívne malom priestore, možnosti visenia vo vzduchu a pomerne veľkú cestovnú rýchlosť. Vďaka týmto výhodám sa využívajú na prepravu osôb a zásielok, ktoré majú byť doručené buď do respektíve z neprístupnej oblasti, alebo sú požiadavky kladené na rýchlosť prepravy.

Helikoptéry si našli svoje nesporné miesto aj v zdravotníckom odvetví, kde slúžia hlavne k záchranárskym prácam. Umožňuje záchranu života a rýchlu prepravu do nemocnice z oblasti, kde by bolo poskytnutie prvej pomoci veľmi zložité alebo aj nemožné. Vrtuľníky sú využívané aj k preprave pacientov alebo orgánov medzi nemocničnými zariadeniami.

Služby týchto strojov využívajú aj hasičské zložky, hlavne k haseniu a lokalizácii požiarov. Hasiace prostriedky sa prepravujú buď v nákladom priestore vrtuľníku alebo v závese pod ním v takzvanom bambi vaku (obr. 33 [30]).



Obr. 33 Eurocopter AS 350 B2 s bambi vakom

Ďalšie uplatnenie vrtuľníkov je pri stavbách umiestnených v neprístupných miestach. Slúžia ako lietajúce žeriavy. Pomáhajú napríklad pri montáži stožiarov vysokého napätia, montáži lanoviek a vysieláčov.

Helikoptéry je možné využiť tiež pri ťažbe dreva, prenosu bremien, a pri rôznych pozorovacích a filmovacích prácach. Vrtuľníky môžu uskutočňovať postreky chemickými látkami.

5. 1. Firmy poskytujúce služby vrtuľníkov v Českej republike

V Českej republike existuje množstvo firiem, ktoré poskytujú rôzne služby a disponujú rôznym leteckým parkom. Oslovil som niekoľko firiem poskytujúcich tieto služby a na základe odpovedí a informácií z internetových stránok som vytvoril prehľad.

AEROCENTRUM

Táto spoločnosť má sídlo na letisku Mělník-Hořín v meste Mělník, ktoré sa nachádza 30km severne od Prahy. Počiatky tejto firmy sa datujú k roku 1993. Ponuka služieb je rozsiahla a patria do nej stavby a montáže, vápnenie lesov, postreky, paravýsadky, helitaxi, outdoorové akcie, transport bremien, ťažba dreva, kontrolné lety, fotolety a filmovanie, hasenie požiarov a výhliadkové lety. Spoločnosť tiež prevádzkuje leteckú školu. Letový park obsahuje 4 stroje. Najväčší stroj je Mi-8, za ktorým nasledujú Robinson R44, MD 520 N a Robinson R22. V tabuľke sú uvedené podrobnejšie informácie o týchto strojoch uvedených na internetovej stránke spoločnosti. [5]

Tab. 9 Prehľad vrtuľníkov leteckej spoločnosti AEROCENTRUM

Označenie vrtuľníku	Cestovná rýchlosť [km/h]	Užitočné zaťaženie [kg]	Počet miest	Dolet [km]
Mi-8	220	4000*	2+24	700
Robinson R44	205	450	1+3	650
MD 520 N	244	800	1+3	389**
Robinson R22	176	247	1+1	480

* Hodnota sa vzťahuje na náklad umiestnený vo vnútri stroja. V podvесе môže viesť len 3000Kg

** Údaj je získaný z technického popisu [35]

DSA a.s.

Spoločnosť založená roku 1992 má nosný program založený na poskytovaní leteckých služieb v zdravotníctve. Medzi ďalšie služby tejto spoločnosti patri filmovanie, hliadkové meracie, vyhliadkové a kontrolné lety, rozhadzovanie letákov, letecké práce v lesnom hospodárstve a aerotaxi. Letecká škola tejto firmy je najväčšia v Českej republike. Na leteckú záchranu službu sú využívané stroje firmy Eurocopter, a to konkrétne EC 135 T2, EC 135 T1 a EC 135 T2+. Na nezáchranársku činnosť sa využívajú stroje Eurocopter EC 135 T1, EC 120 a AS 355. Informácie o využívaných vrtuľníkoch spoločnosti DSA a.s. sú v tabuľke. [6]

Tab. 10 Prehľad vrtuľníkov leteckej spoločnosti DSA a.s

Označenie vrtuľníku	Cestovná rýchlosť [km/h]	Počet miest	Dolet [km]
Ec 120	190	4	600
AS 355	218	5	700
EC 135 T1	254	6	635

NISA AIR s.r.o.

V roku 1996 bola táto spoločnosť založená ako dcérsky podnik spoločnosti predávajúcej vrtuľníky Robinson. Firma poskytuje širokú škálu služieb. Ide o letecké snímkovanie, vyhliadkové lety, prepravu urgentných zásielok, monitorovacie lety, kontrolné činnosti zo vzduchu, leteckú školu, servisnú činnosť a predaj vrtuľníkov. [7]

LPS s.r.o.

Na území Českej republiky je tiež spoločnosť LPS, poskytujúca výcvik pilotov, monitoring produktovodov, letecké fotografovania, a vyhliadkové lety. Firma má na svojej internetovej stránke zverejnený cenník služieb. Letecký park obsahuje stroje Robinson R22 Beta, Robinson R44 Astro, Bölkow BO-105. Ceny služieb a možnosti strojov sú uvedené v tabuľke (tab. 8 [8]). [8]

Tab. 11 . Prehľad vrtuľníkov leteckej spoločnosti LPS s.r.o.

Označenie vrtuľníku	Cestovná rýchlosť [km/h]	Počet miest	Dolet [km]	Cena vyhliadkového letu [Kč/min]	Cena leteckého fotografovania a filmovania [Kč/h]	
					Produktívny let	Neproduktívny let
R22 Beta	170	1+1	480	3960/25	8000	7800
R44 Astro	200	1+3	650	6345/20	16000	15500
Bo-105	210	1+4	500	-	38600	30880

Leteckou činnosťou s helikoptérmi v Českej republike sa zaoberá aj spoločnosť Alfa Helicopter, špecializujúca sa na záchranárske činnosti. Ďalej tu je firma Fly For Fun, ktorá prevádzkuje leteckú školu a poskytuje vyhliadkové lety vrtuľníkom. Firma Heliwork.cz je zameraná na hliadkové pozorovacie, meracie a kontrolné lety, letecké snímkovanie, vyhliadkové lety, letecké práce v stavebníctve, hasenie požiarov, výcvikové lety. Montair má program zameraný na montáž oceľových konštrukcií pomocou vrtuľníkov. Spoločnosť V.I.P. Helicopter Czech poskytuje dopravu vrtuľníkom po území Českej republiky širokým letovým parkom.[9]

5. 2. Firmy poskytujúce služby vrtuľníkov v Slovenskej republike

Na Slovensku sídli niekoľko firiem poskytujúcich rozličné druhy služieb. Ochota spolupracovať a poskytnúť informácie u spoločností bola ale vo veľmi malom rozsahu.

EHC service

Od roku 2005 firma zabezpečuje prepravu osôb a nákladu, letecký výcvik a vykonávanie leteckých prác. Sídlo spoločnosti sa nachádza na východnom Slovensku, v meste Prešov. V leteckom parku sa nachádzajú stroje Bell 206 BIII, Eurocopter AS 355N. Vrtuľník Bell umožňuje prepravu 3 - 4 osôb + pilot v dolete 650 km a vrtuľník Eurocopter 4 - 5 osôb v dolete 700km.[36]

AIR - TRANSPORT EUROPE s.r.o.

Začiatok pôsobenia sa datuje k roku 1991, čím sa zaradzuje medzi prvé súkromné letecké spoločnosti v Česku a na Slovensku. Spoločnosť vykonáva vrtuľníkovú záchrannú službu, špeciálne letecké práce a servis vrtuľníkov Eurocopter, AgustaWestland a Mil. Taktiež poskytuje možnosť prenájmu vrtuľníku. Ceny sa stanovujú na základe dohody medzi oboma stranami. Špeciálne letecké práce sú vykonávané na strojoch Mi-8T/Mi-8MTV, Eurocopter AS355N, Agusta A109K2. Prenajať si je možné vrtuľník Eurocopter AS 355N, ktorý odvezie piatich pasažierov cestovnou rýchlosťou 210 km/h s doletom 700km. K záchranným prácam využívajú 9 strojov Agusta A109K2. [37]

Tab. 12 Prehľad vrtuľníkov leteckej spoločnosti AIR - TRANSPORT EUROPE s.r.o.

Označenie vrtuľníku	Cestovná rýchlosť [km/h]	Maximálna vzletová hmotnosť [kg]	Počet miest	Dolet [km]
Mil Mi-8	225	12000	3+24	450
Eurocopter AC 355N	210	2600	1+5	700
Agusta A109K2	265	3000	2+7	964

Flight Service s.r.o.

Letecké služby firmy Flight Service sú na trhu od roku 1996. Záber spoločnosti je rozsiahly. Patria do neho stavebné a montážne práce, vyhlídkové lety, helitaxi, letecká škola, servis helikoptér, kontrolné a mariace lety, letecká škola, služba leteckého kuriéra, nákup a predaj vrtuľníkov. Spoločnosť disponuje strojmi Robinson R22 Beta, MD Helicopters MD-530F, Robinson R44 Raven II, Mil Mi-8, Bell 206 Ranger. Cena jednej letovej hodiny pre vrtuľník Robinson R22 Beta je 416,50 eur. [38]

Tab. 13 Prehľad vrtuľníkov leteckej spoločnosti Flight Service s.r.o.

Označenie vrtuľníku	Cestovná rýchlosť [km/h]	Maximálna vzletová hmotnosť [kg]	Počet miest	Dolet [km]
Robinson R-22 Beta	160	635	1+1	386
MD Helicopters MD-530F	250	1610	1+4	430
Robinson R-44 Raven II	204	1088	1+3	560
Mil Mi-8	225	12000	3+24	450
Bell 206 Ranger	216	1451	1+4	693

Medzi spoločnosťami na území Slovenskej republiky patria ešte Helidurfly, ktorá sa zameriava na predaj, servis vrtuľníkov a leteckú školu a TECH-MONT Helicopter company s.r.o., ktorá je uznávaná spoločnosť na prepravu ťažkých bremien pomocou helikoptér. Heli Taxi s.r.o. poskytuje prenájom vrtuľníkov a leteckú školu. Ceny tejto spoločnosti za letovú hodinu sú od 350 eur po 1000 eur závislé na typu stroja.

6. Budúcnosť a nové trendy vrtuľníkov

Tak ako v každom odvetví, aj v tomto je snaha o vývoj nových technológií, systémov a ich aplikácií. Vo všeobecnosti sa firmy konštruujúce helikoptéry snažia, aby ich stroje mali nižšiu spotrebu, hluk a zároveň zvýšiť výkon, rýchlosť a ovládateľnosť. Existujú návrhy vrtuľníkov a samotné vrtuľníky na čisto elektricky pohon.

Väčšina konštruktérskych kancelárií sa snaží dosiahnuť kompromis medzi vrtuľníkmi a lietadlami. Teda využiť výbornú manévrovateľnosť a možnosti vistenia u vrtuľníkov a rýchlosť letu u lietadiel. Dosahovanie vyšších rýchlostí ale so sebou prináša mnoho komplikácií. Pri doprednom lete spoločne s rotáciou rotoru môže rýchlosť na konci listov dosahovať rýchlosti zvuku. To má za následok vznik razu a vibrácií. Firma Sikorsky vo svojom stroji X2 využíva generátor vibrácií, ktorý vytvára protivibrácie vyrušujúce pôvodné vibrácie pri rýchlom lete. Koaxiálna dvojrotorová konštrukcia rieši problém rôznych rýchlostí obtekajúceho vzduchu na základe azimutálnej polohy. Sikorsky a aj konštrukčná kancelária Kamov (obr. 34 [31]) vyvíjajú stroje s tlačnou vrtuľou, ktorá pomáha stroju dosahovať vysokú rýchlosť. X2 dosiahla úctyhodnej rýchlosti 430km/h a v pláne je zvýšenie až na 460km/h. Ruskí konštruktéri dokonca plánujú rýchlosť až okolo 500km/h.[31][33]



Obr. 34 Projekt Kamov Ka-92

Iným smerom sa vydáva firma Eurocopter, ktorá nevsádza na rýchlosť stroja, ale na ovládateľnosť. Návrh stroja Eurocopter X4 (Obr. 35 [32]) počíta zo systémom ovládania fly-by-wire, čo znamená, že ovládanie sa nesprostredkováva pomocou mechanických častí, ale signál z riadiacej páky sa prenáša pomocou elektronických signálov k servomotorom obsluhujúcim riadiace plochy stroja. Taktiež sa tam nachádza veľký HUD display a väčšina kabíny je presklená, čo umožňuje dobrý výhľad pilota. [32]

Tak ako i v niektorých iných odvetviach, tak aj v tomto je najväčším ťahúňom vojenský sektor. Americká armáda pracuje intenzívne na projekte zásobovacieho bezpilotného stroja Kaman K-MAX. Tento bezpilotný stroj by bol plne autonómny, takže odpadá nutnosť operátora v riadiacom stredisku. [34]



Obr. 35 Eurocopter X4

7. Záver

Rozdelenie vrtuľníkov požaduje znalosť histórie a niektorých vlastností vrtuľníkov. S prihliadnutím na to som na začiatku práce spracoval prehľad histórie helikoptér a v ďalšej kapitole i princíp lietania a popis niektorých hlavných častí vrtuľníkov.

Samotné delenie poskytuje prehľad konštrukcií, ktoré sa vyskytujú u vrtuľníkov. Každý z popísaných typov disponuje výhodami i nevýhodami, ktoré sa zákonite odzrkadľujú v možnostiach využitia. Práca tiež obsahuje v rámci každého delenia technické parametre vybraných strojov uvedených v príslušných tabuľkách. Takisto aj delenie na základe vzletovej hmotnosti a počtu osôb je rozšírené o tabuľku niektorých vybraných typov strojov.

Jedným z cieľov bakalárskej práce bolo i zmapovanie spoločností, ktoré poskytujú služby v tejto oblasti a to nielen v Českej republike ale i na Slovensku. Po oslovení desiatky najvýznamnejších poskytovateľov som dospel k záveru, že toto odvetvie služieb je charakteristické pomerne nízkou informovanosťou o ponúkaných službách jednotlivých spoločností. Zväčša išlo iba o zoznam možných oblastí a to bez údajov o finančnej nákladovosti. Na základe niekoľkých dostupných informácií je možné vyvodiť iba pomerne stručný záver o prekvapivo vysokom počte spoločností zameriavajúcich sa na poskytovanie služieb spojených s využívaním vrtuľníkov a o rôznorodosti poskytovaných služieb. Využitie vrtuľníkov sa viaže zväčša na situácie charakteristické svojou nevyhnutnosťou nakoľko ceny sú v rámci tejto oblasti pomerne vysoké.

Súčasný trend naznačuje, že v budúcnosti sa spoločnosti konštruujúce vrtuľníky budú snažiť o vývoj rýchlejších a lepšie ovládateľných strojov. Ďalším z cieľov je určite i zníženie spotreby paliva, a tým aj zvýšenie efektívnosti. V návrhoch sa čoraz častejšie objavujú stroje s čisto elektrickým pohonom.

Zoznam použitých zdrojov

- [1] SVOBODA. V. 1979. *Vrtulníky*. 1 vyd. Nakladatelství NAŠE VOJSKO, 190 s.
- [2] NEŠTRÁK. D - PIL'A. J. 2007. *Aerodynamika, konstrukce a systémy vrtulníků*. 1 vyd. Brno 2007. Nakladatelství CERN. 456 s. ISBN 97880720448
- [3] JACKSON. P. 2004. Jane's *ALL THE WORLD AIRCRAFT 2004-2005*, Inc., 2004 by Janes's Information Group Limited. 860 p. ISBN 0-7106-2614-2
- [4] Historie. *The Bongo Helicopter* [online]. [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.nadc.cz/bongo/history.php>
- [5] OGURCAK, Petr. *Letecké práce vrtulníky | Aerocentrum* [online]. 2010, 2012 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.aerocentrum.cz/>
- [6] DSA a.s. [online]. 2008 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.dsa.cz/cz/>
- [7] NISA AIR. *NISA AIR* [online]. 2010 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.nisaair.cz/index.php/cz/>
- [8] ŠVESTKA, David. *LPS, Letecké práce a služby, s.r.o.* [online]. 2005-2008 © [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.lps-sro.cz/>
- [9] Vrtulníkové firmy v České republice. *VRTULNÍKY A HELIKOPTÉRY* [online]. © 2003 - 2012 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.vrtulniky.sk/firmy/ceska-republika/>
- [10] Brief history of helicopters and selected news reports for Rotary Action at rotaryaction.com. *Rotary Action - guide to helicopters in movies and television at rotaryaction.com* [online]. ©1999-2012 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.rotaryaction.com/history.html>
- [11] All the World's Helicopters and Rotorcraft - the most complete helicopter collection in the world. *Helicopters, autogyros, tilt-rotors, tilt-wings etc.* [online]. 2012 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.aviastar.org/>
- [12] Bell 47. *Aircraft wallpapers* [online]. © 2009 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.theaircraft.net/bell-47/>
- [13] Bell 205-A1 - Mehrzweckhubschrauber. *Lexikon der Flugzeuge und Hubschrauber - Flugzeugmodelle, Flugzeugtechnik, Flugzeugdaten, Flugzeugtypen* [online]. 2008, 21.05.2012 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: http://www.bredow-web.de/ILA_2004/Helikopter/Bell_205-A1/bell_205-a1.html

- [14] VAN LEEUWEN, Marcel. Russian Helicopters Chosen Latest version of the Ardiden family for the Ka-62. *International Aviation news, for professionals and enthusiasts* [online]. © 2012 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.aviationnews.eu/2010/02/24/russian-helicopters-chosen-latest-version-of-the-ardiden-family-for-the-ka-62/>
- [15] Blue Eagles Team. [Http://www.aviationtrivia.info/index.php](http://www.aviationtrivia.info/index.php) [online]. 2010 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.aviationtrivia.info/Blue-Eagles.php>
- [16] Vrtulníky v Česku - Helicopters in Czechia. *Vrtulníky v Česku - Helicopters in Czechia* [online]. 2012 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.vrtulnik.cz/>
- [17] Vrtulník HC 2 (VR-2) Heli Baby. ENTERMEDIA. *Národní technické muzeum* [online]. © 2000-2012 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.ntm.cz/heslar/heli-baby>
- [18] HC-3 :: Československo (CZK) :: Vrtulníky. *Válka.cz* [online]. 2012 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://forum.valka.cz/viewtopic.php/t/8738>
- [19] Kamov Ka-115 Moskvička. *Válka.cz* [online]. 2012 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://forum.valka.cz/viewtopic.php/t/2070>
- [20] Bristol 192 Belvedere HC.1 (Airfix 1/72) by héli-cow. *Scale Rotors - Modeling Helicopters* [online]. 2011 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.scale-rotors.com/gallery/utility-helicopters/bristol-192-belvedere-hc1-airfix>
- [21] Storia del volo (parte 11). *Volare architettura di Piero Tucci e Gianluca Di Pasquale* [online]. 2011 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: http://www.volarearchitettura.it/_ricerca-e-approfondimenti/storia-del-volo-parte-11/
- [22] Welcome to Aircraft Compare. *Welcome to Aircraft Compare* [online]. ©2009 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.aircraftcompare.com/helicopter-airplane/Kaman-K-Max/426>
- [23] Doblhoff WNF 342. *Druhá světová válka* [online]. © 2004-2008 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: http://www.topsid.com/index.php?war=nemecko&unit=doblhoff_wnf_342
- [24] Prototypes.com/Les avions à décollage et atterrissage vertical/XIV. Les convertibles/X-Wing. *Le site des projets et prototypes d'avions* [online]. 2003 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://prototypes.free.fr/vtol/vtol-10.htm>
- [25] Helicopter Eurocopter Puma AS332 L1 rear tail rotor. *Ahirts, Posters, Greeting Cards, Wall Art, Fine Art Prints, Calendars & More | RedBubble* [online]. 2011 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.redbubble.com/people/evenflow/works/4351461-helicopter-eurocopter-puma-as332-11-rear-tail-rotor>

- [26] Bo 105 - Livien.org - Stránka o vrtulnících Eurocopter, Agusta, Bell a dalších. *Vrtulníky Livien.org - Stránka o vrtulnících Eurocopter, Agusta, Bell a dalších* [online]. 2009 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://livien.org/bo105.htm>
- [27] Eurocopter dévoile. *Actualité et magazine aéronautique* [online]. 2012 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.aeroweb-fr.net/actualites/2011/03/eurocopter-devoile-lec-145-t2>
- [28] *Aviation Images - Aircraft Photography* [online]. 2012 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.b-domke.de/AviationImages.html>
- [29] SO-1221 Djinn. *Flickr* [online]. 2012 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.flickr.com/photos/jeffweb/5176049029/>
- [30] SEI Industries Ltd. *SEI Industries Ltd* [online]. 2012 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.sei-ind.com/gallery/images/firefighting>
- [31] Kamov Ka-92. LIVNO WEB. *Airplanes and Helicopters* [online]. ©2011 - 2012 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.kamov.net/kamov-civilian/kamov-ka-92-2/>
- [32] GROHMANN, Jan. Eurocopter X4 – vrtulník budoucnosti z Evropy. *ARMÁDNÍ NOVINY* [online]. 29. 04. 2012 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.armadninoviny.cz/eurocopter-x4-vrtulnik-budoucnosti-z-evropy.html>
- [33] PŘIBÁŇ, Dan. Stíhací vrtulník: Sikorski X2. *ABC* [online]. 2010, č. 25, 2011 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.abicko.cz/clanek/technika/10772/stihaci-vrtulnik-sikorski-x2.html>
- [34] GROHMANN, Jan. Revoluce v zásobování vojáků na bojišti. *ARMÁDNÍ NOVINY* [online]. 12. 01. 2012 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.armadninoviny.cz/revoluce-v-zasobovani-vojaku-na-bojisti.html>
- [35] VRTULNÍK MD 520 N. *Http://www.mdvrt.cz/* [online]. 2012 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.mdvrt.cz/?akce=popis&snd=&lng=>
- [36] MPROVE. *EHC Service, s.r.o. Prešov* [online]. © 2007 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.ehc.sk/>
- [37] Air - Transport Europe, spol. s.r.o. [online]. © 2012 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.ate.sk/>
- [38] TOCELABS. *Flight Service* [online]. © 2010 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.flight.sk/>

Zoznam skratiek, veličín a jednotiek

Skratky

Aero	Názov podniku
A-xxx	Označenie strojov firmy Agusta
Bell xxx	Označenie Bell
B-47G	Označenie stroja firmy BELL
BO xxx	Označenie stroja firmy Bölkow
CAGY	Ústredný aerohydrodynamický inštitút
CH-47	Označenie stroja firmy Boeing Vertol
DASA	DaimlerChrysler Aerospace AG
EA	Experimentálno-aerodynamický
EADS	European Aeronautic Defence and Space Company
EC-xxx	Označenie strojov spoločnosti Eurocopter
FAI	Medzinárodná letecká federácia
Fa xxx	Označenie strojov firmy Foche-Achgelis
Fenestron	Vrtuľa v prstenci, zariadenie na vyrovnávanie reakčného momentu
FJ-V2	Označenie stroja firmy Wagner
Fw xx	Označenie stroja firmy Foche-Wulfe
HC-xxx	Označenie stroja Československého pôvodu navrhnuté Ing. Šlechtom
H-21	Označenie stroja firmy Piasecki Helicopter, neskôr Boeing Vertol
HUD	Head up display, systém premietajúci údaje na sklo
Jak-xxx	Označenie vrtuľníkov firmy Jakovlev
Ka-xx	Označenie strojov konštrukčnej kancelárie N. I. Kamov
KH-xx	Označenie stroja firmy Kellett
K 1200 K-MAX	Označenie stroja firmy Kaman
MD xxx	Označenie stroja firmy MD Helicopters
Mi-xx	Označenie strojov konštrukčnej kancelárie M. L. Mila
Na-x	Označenie vrtuľníkov firmy NA Design Company
NOTAR	No tail rotor v preklade bez vyrovnávacieho rotoru
RZHP	Rada vzájomnej hospodárskej pomoci
R-xx	Označenie stroja firmy Robinson
SA-xxx	Označenie strojov firmy Aerospatale
S-xxx	Označenie stroja firmy Sikorsky
tzv.	takzvané
UH-1	Označenie stroja firmy BELL. Vrtuľník je prezývaný Huey
VR-1	Označenie vrtuľníka firmy Avia
VS-300	Označenie stroja firmy Vought-Sikorsky
WNF	Označenie stroja Doblhoff
XV-1	Označenie stroja firmy McDonnell
XZ-xxx	Označenie vrtuľníkov navrhovaných podnikom Moravan
X2	Označenie stroja firmy Sikorsky
X4	Označenie projektu stroja firmy Eurocopter
xxx	Označenie konkrétneho stroja, zväčša číselné a písmenami označená modifikácia

Veličiny a jednotky

β	Uhol vymávnutia listov nosného rotora
---------	---------------------------------------

φ	Uhol nastavenia listov nosného rotora
ψ	Uhol azimutálnej polohy nosného rotora
h	hodina
Kč	Korún českých
kg	kilogram
km	kilometer
min	minúta

Zoznam obrázkov

<i>Obr. 1 Da Vinciho návrh vrtuľníku</i>	12
<i>Obr. 2 Vrtuľník Paula Cornu</i>	13
<i>Obr. 3 VS-300</i>	13
<i>Obr. 4 Bell 47G-2</i>	14
<i>Obr. 5 Bell 205 A1</i>	15
<i>Obr. 6 Ka-62</i>	15
<i>Obr. 7 Sa-341 „Gazelle“</i>	16
<i>Obr. 8 Vrtuľník Praga XE-II OK v Praze 27.4.1951 pilotovaný Františkom Jančom</i>	17
<i>Obr. 9 HC-2 „Heli Baby“</i>	17
<i>Obr. 10 HC-3</i>	18
<i>Obr. 11 HC-4</i>	18
<i>Obr. 12 Náklon disku nosného rotoru</i>	19
<i>Obr. 13 Rotorová hlava Mi-24</i>	20
<i>Obr. 14 Ka-115 "Moskvichka" s koaxiálnym usporiadaním rotorov</i>	22
<i>Obr. 15 Bristol 192 Belvedere HC.1</i>	23
<i>Obr. 16 Fa-223 Drache</i>	24
<i>Obr. 17 Mi-12</i>	24
<i>Obr. 18 Kaman K 1200 K-MAX</i>	25
<i>Obr. 19 Doblhoff WNF 342</i>	26
<i>Obr. 20 McDonnell XV-1</i>	26
<i>Obr. 21 Vyrovnávacie rotory a) s tuhým upevnením listov, b) s kľbovým uložením listov</i> ,.....	27
<i>Obr. 22 Vyrovnávací rotor stroja Eurocopter Puma AS332 L1</i>	27
<i>Obr. 23 Vyrovnávací rotor vrtuľníku Bo 105</i>	28
<i>Obr. 24 Fenestron stroja Eurocopter EC-145 T2</i>	28
<i>Obr. 25 Princíp vyvažovanie pomocou systému NOTAR</i>	29
<i>Obr. 26 Druhy upevnenia listov k hlave a) kľbové b) polotuhé c),d) tuhé</i>	30
<i>Obr. 27 Tuhý rotor stroja Eurocopter EC725 Caracal</i>	31
<i>Obr. 28 Polotuhý rotor stroja Robinson R-22</i>	32
<i>Obr. 29 Kľbová rotorová hlava stroja Sikorsky H-19 Chickasaw (S-55)</i>	32
<i>Obr. 30 Použitie elastomerného ložiska na stroji Eurocopter AS355</i>	33
<i>Obr. 31 Výtoková tryska stroja SO-1221 „Djinn“</i>	36
<i>Obr. 32 Kellett KH-15 „Stable Mable“ s raketovými motormi na konci listov nosného rotoru</i>	37
<i>Obr. 33 Eurocopter AS 350 B2 s bambi vakom</i>	38
<i>Obr. 34 Projekt Kamov Ka-92</i>	42
<i>Obr. 35 Eurocopter X4</i>	43

Zoznam tabuliek

<i>Tab. 1</i>	<i>Prehľad vybraných jednorotorových vrtuľníkov</i>	<i>21</i>
<i>Tab. 2</i>	<i>Prehľad vybraných koaxiálnych vrtuľníkov</i>	<i>22</i>
<i>Tab. 3</i>	<i>Prehľad vybraných tandemových vrtuľníkov.....</i>	<i>23</i>
<i>Tab. 4</i>	<i>Prehľad niektorých vrtuľníkov s rôznym riešením vyrovnávania sa s reakčným momentom</i>	<i>30</i>
<i>Tab. 5</i>	<i>Prehľad rozdelenia vrtuľníkov podľa vzletovej hmotnosti</i>	<i>34</i>
<i>Tab. 6</i>	<i>Prehľad niektorých vrtuľníkov ľahkej hmotnostnej kategórie.....</i>	<i>34</i>
<i>Tab. 7</i>	<i>Prehľad niektorých vrtuľníkov strednej hmotnostnej kategórie</i>	<i>35</i>
<i>Tab. 8</i>	<i>Prehľad niektorých vrtuľníkov ťažkej hmotnostnej kategórie</i>	<i>35</i>
<i>Tab. 9</i>	<i>Prehľad vrtuľníkov leteckej spoločnosti AEROCENTRUM.....</i>	<i>39</i>
<i>Tab. 10</i>	<i>Prehľad vrtuľníkov leteckej spoločnosti DSA a.s</i>	<i>39</i>
<i>Tab. 11</i>	<i>Prehľad vrtuľníkov leteckej spoločnosti LPS s.r.o.</i>	<i>40</i>
<i>Tab. 12</i>	<i>Prehľad vrtuľníkov leteckej spoločnosti AIR - TRANSPORT EUROPE s.r.o.....</i>	<i>41</i>
<i>Tab. 13</i>	<i>Prehľad vrtuľníkov leteckej spoločnosti Flight Service s.r.o.</i>	<i>41</i>