

## Prosadí se elektromotor v individuální letecké dopravě?

HRDÝ JAN

Gymnázium Jana Pivečky a SOŠ Slavičín

Tento článek má sloužit stejně jako oba loňské příspěvky [1,2] k získávání a dalšímu prohlubování zájmu studentů o studium fyziky a technických oborů a to zajímavou a populární formou. Pro omezený rozsah příspěvku se budeme zabývat pouze využitím elektromotorů v **individuální** letecké dopravě. Nebudeme se tedy zabývat ani nákladní leteckou dopravou na krátké vzdálenosti (zde je použití elektromotoru rovněž perspektivní) a ani problematikou bezpilotních dálkově řízených prostředků – **dronů**. V této oblasti se elektromotor prosadil již dávno [3]. Příspěvek je zaměřený zejména na vysvětlení základních **fyzikálních principů** pohybu a ovládní elektrických letadel, které se většinou dosti liší od letadel se spalovacím motorem. Pro praktickou demonstraci těchto principů byl jako fyzikální pomůcka použit dálkově řízený model hexakoptéry *Scorpion S-max* (obr.1).

### 1. Úvod

Ke správnému a logickému zodpovězení naší otázky se musíme nejdříve zamyslet nad tím, které vlastnosti elektromotoru jej předurčují pro toto použití, jaká je současná situace v konstrukci vhodného akumulátoru, proč individuální letecká doprava zřejmě nepůjde cestou elektrického vrtulníku a v čem spočívá geniální jednoduchost principu a konstrukce multi-rotorových strojů.

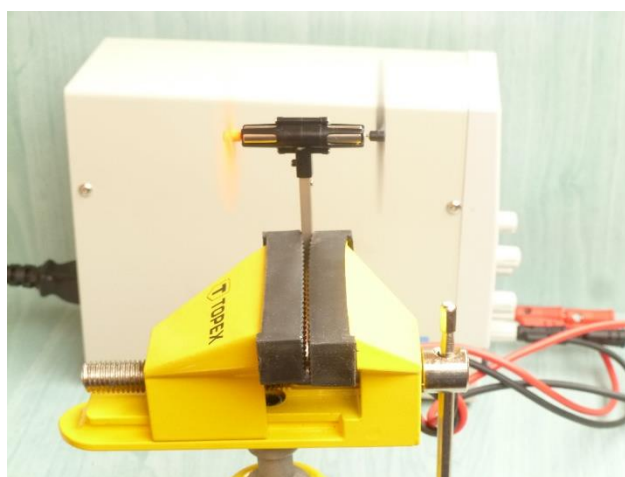
### 2. Důležité vlastnosti elektromotoru pro použití v letecké dopravě

Jednoduchost mechanické konstrukce (pouze jediná pohyblivá část – rotor, který je možné dokonale staticky i dynamicky vyvážit a který se pohybuje pouze na dvou kuličkových ložiscích) je předpokladem vysoké spolehlivosti motoru. Moderní elektronicky řízený elektromotor má rovněž vysokou účinnost (větší než 95%), je možné jej několikanásobně přetížit a snadno přesně regulovat otáčky a krouticí moment (s rychlou odezvou, což je v letectví velmi důležité). Navíc mají letecké elektromotory malé rozměry a velký měrný výkon (např. revoluční letecký elektromotor *Siemens* [4] má trvalý výkon 260 kW při hmotnosti motoru pouhých 50kg).

Na obr.2 je detailní pohled na dvojici elektromotorů s vrtulemi použité hexakoptéry *Scorpion S-max*. Elektromotorky jsou skutečně miniaturní (průměr mají pouhých 7 mm, délku 22 mm) a při jmenovitém napájecím napětí 3,7 V odebírají proud 1,05 A, čemuž odpovídá jmenovitý příkon téměř 4 W. Obě vrtule mají shodný průměr 55mm, jedna je pravotočivá, druhá levotočivá.



Obr.1 Použitá demonstrační hexakoptéra *Scorpion S-max*



Obr.2 Detail pohonné jednotky na zkušební lavici za chodu (*Scorpion S-max*)

### 3. Současná situace v konstrukci vhodného akumulátoru

V březnu letošního roku (2017) proběhla tiskem zpráva, že byl objeven nový revoluční typ baterie. Autorem není nikdo jiný než profesor *John B. Goodenough*, který je vynálezcem i původní Li-Ion baterie a který ve svých 94 letech vyvinul nový alternativní typ, který má podstatně lepší vlastnosti, než dnešní používaná řešení [5].

Nová baterie je výrobně levná a ve srovnání s klasickou lithium-iontovou baterií je bezpečnější (nemůže se vznítit), ukládá třikrát tolik energie, umožňuje rychlejší nabíjení (řádově minuty místo hodin) a vydrží větší počet nabíjecích a vybíjecích cyklů. Lithium je nahrazeno levnějším a ekologičtějším sodíkem, nová baterie používá skleněné elektrolyty místo kapaliny a dokáže normálně fungovat až do  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Profesor *Goodenough* a jeho tým se nyní snaží navázat spolupráci se společnostmi, které vyrábějí baterie a mohly by tedy nového objevu využít v praxi. Pokud se to podaří, mohla by nastat dlouho očekávaná „bateriová revoluce“.

#### 4. Složitá cesta ke konstrukci prvního elektrického vrtulníku

Předchůdce dnešních vrtulníků vzletl poprvé přesně před sto lety [6] ve Lisieux ve Francii – **13. listopadu 1907**. Jednalo se spíše o létající bicykl, který však již obsahoval dodnes používaná řešení. Mladý vynálezce *Paul Cornu* použil dvou protiběžných vrtulí (aby zabránil nežádoucímu otáčení vrtulníku kolem vlastní osy) a lopatky (dvě na rotor) obsahovaly prstenec, který cyklicky měnil úhel náběhu rotorových listů. Podobný princip se používá dodnes. Problémem tohoto vrtulníku byla jeho stabilita.



Obr.3 Létající bicykl - vrtulník *Paula Corna* (Francie 1907)

Historicky první let **elektrického vrtulníku** podnikl francouzský inženýr a konstruktér *Pascal Chretien* až 12. srpna 2011. Důvodem dosavadní neexistence elektrických vrtulníků byla velká spotřeba energie pro kolmý vzlet, vodorovný let i svislé přistání daná především značnou mechanickou složitostí vrtulníku [7]. Bylo jasné, že k návrhu stroje se nemůže přistupovat klasickou cestou. Proto hned na počátku byl zavržen energeticky náročný ocasní vyrovnávací rotor, typický pro většinu klasických vrtulníků. Místo toho byly použity dvě protiběžné koaxiální vrtule. Koaxiální vrtule udržují stroj v přímém směru. Vrtulník tak potřebuje jen jednoduchý směrový ocas.



Obr.4 Vynálezce *Pascal Chretien* s prvním elektrickým vrtulníkem (Francie 2011)

Dalšího snížení energetické náročnosti bylo dosaženo výměnou klasického cyklického řízení za nový zjednodušený systém. Pro změnu směru letu se natáčí celá osa vrtule (místo jednotlivých listů), a to jen pomocí jednoduché páky (obr. 4).

## 5. Multi-rotorové létající stroje

Mechanické převody, které jsou nezbytnou součástí vrtulníku a současně také jeho největší slabinou, lze zcela eliminovat použitím multi-rotorové koncepce letounu. V této moderní koncepci je každá vrtule přímo a bez jakéhokoliv mechanického převodu spojena se samostatným elektromotorem. Vrtule jsou pevně nastavené a proto levné a spolehlivé. Řízení takového letounu se ale neobejde bez použití rychlého a výkonného počítače. Tento nový perspektivní systém se přes veškeré jeho výhody nedá realizovat s použitím velkého počtu spalovacích motorů.

Příkladem v současnosti pravděpodobně nejvyzrálejší konstrukce multi-rotorového stroje je *Volokoptéra* německé firmy *e-Volo* [8], která by zanedlouho měla být běžně v prodeji. Zbývá jen realizovat rozsáhlé vytrvalostní zkoušky kabiny pro cestující, přistávacího rámu a rotorového pole. V Německu by pak lidé s leteckým oprávněním mohli už v blízké budoucnosti létat i na volokoptérách *e-Volo*.



Obr.5 Volokoptéra *VC200* projektu *e-Volo* je první dvoumístná volokoptéra na světě

Prvním prototypem volokoptéry byl model *VC1* (hmotnost 80 kg, 16 elektromotorů), který byl určen k bezpilotním zkouškám. Další prototyp *VC2* pohání již 18 elektromotorů, každý o výkonu 2 kW. Aktuálně je ve vývoji dvojmístný stroj *VC200*, jenž by měl dosáhnout rychlosti 100 km/h, výšky letu 2 km a startovací hmotnosti až 450 kg. V současné době se kvůli kapacitě baterií doba letu pohybuje okolo 20 minut, výzkumný tým ale věří, že se mu podaří s čistě elektrickým strojem dosáhnout alespoň hodinové výdrže (až budou k dispozici dostatečně výkonné baterie). Stroj se bude ovládat zařízením podobným joysticku.

## 6. Jak se řídí multi-rotorové systémy?

Otáčení multi-rotorového systému se dosáhne tak, že se zvýší (sníží) otáčky pravotočivých (nebo levotočivých) vrtulí a výsledný moment síly, který již není nulový, otočí systém požadovaným směrem. Pokud se multi-rotorový systém vznáší v klidu na jednom místě, jsou osy všech vrtulí svislé.

Pokud zvýšíme (snížíme) otáčky na jedné straně systému, dojde k jeho naklonění a vzniklá vodorovná složka tahové síly motorů (její velikost závisí na náklonu) pohybuje multi-rotorovým systémem požadovaným směrem.

## 7. Závěr

Je až s podivem, jak moderní multi-rotorové koncepce létajících strojů poháněné větším počtem nezávislých elektromotorů a rotorů, připomínají představy geniálního spisovatele a vizionáře **Julese Verna**, tak jak je ztvárnil v konstrukci vzdušného korábu **Albatros** ve známém románu **Robur Dobytel**.

I když je uvedená problematika poměrně mladá, nabídka různých konstrukcí a řešení je přesto už značně široká a pestrá. Vzhledem k omezenému rozsahu příspěvku byly vybrány pouze ty nejdůležitější informace tak, aby příspěvek mohl sloužit jako přehledná, stručná a praktická příručka pro informaci o současné situaci v perspektivní oblasti *individuální letecké dopravy*.

## Literatura

- [1] Hrdý J. a stud. GJP: *Proč vítězí elektromotor také v silniční dopravě?*  
In: Sbor. konf. „Veletrh nápadů učitelů fyziky 21“. Ed.: Milěš T. a Válek J.,  
Pedagog. fak. MU v Brně, Brno 2016, 76-80. ISBN 978-80-210-8465-0.
- [2] Hrdý J. a stud. GJP: *Postavte si vlastní elektromotor – není nic jednoduššího.*  
In: Sbor. konf. „Veletrh nápadů učitelů fyziky 21“. Ed.: Milěš T. a Válek J.,  
Pedagog. fak. MU v Brně, Brno 2016, 81-85. ISBN 978-80-210-8465-0.
- [3] Stephan zu Hohenlohe: *Multicopter dronen*. Geramond Verlag GmbH 2016.  
Překl.: *Drony*. Alpress, s.r.o., Frýdek-Místek, 2016. ISBN 978-80-7543-234-6.
- [4] <http://www.flying-revue.cz/revolucni-letecky-elektromotor-od-siemense>
- [5] <https://elektrickevozy.cz/clanky/otec-li-ion-baterii-vymyslel-novy-typ-baterie-je-doslova-revolucni>
- [6] [https://technet.idnes.cz/prvni-vrtulnik-s-pilotem-vzletl-prave-pred-100-lety-byl-to-letajici-bicykl-1q3-/tec\\_technika.aspx?c=A071112\\_222311\\_software\\_rja](https://technet.idnes.cz/prvni-vrtulnik-s-pilotem-vzletl-prave-pred-100-lety-byl-to-letajici-bicykl-1q3-/tec_technika.aspx?c=A071112_222311_software_rja)
- [7] <http://www.hybrid.cz/vzletnul-historicky-prvni-pilotovany-elektricky-vrtulnik>
- [8] <http://www.techmagazin.cz/832>

