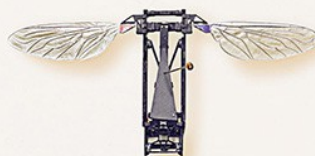


**DRUHÝCH 100 LET
ANEB LETECTVÍ 2003-2103**

ROBOTICKÝ HMYZ



Vespula Atropilosa



RoboBee



Chrysina Woodi

8. díl – Robotický hmyz aneb skutečně by čmelák neměl létat?

„Podle zákonů aerodynamiky by čmelák neměl létat, ale to on neví, a tak si létá.“ Průpovídka, kterou bezpochyby slyšel téměř každý. Let hmyzu byl dlouhou dobu velkým tajemstvím, neboť podle principů aerodynamiky, prostřednictvím kterých je možné vysvětlit let letadel, by hmyz skutečně neměl létat. Křídla by totiž za těchto podmínek neposkytovala dostatečný vztlak, tudíž je skutečnou záhadou, jak svedou mouchy tak brilantně uhýbat novinám a bránit tak svému zaplácnutí. Tedy bylo to záhadou. Až do nedávna, kdy se vědcům povedlo zjistit, na jakých principech let hmyzu spočívá. A snad nejlepším způsobem, jak demonstrovat, že jsme hmyzí let opravdu pochopili, je sestrojít umělý hmyz, který bude takřka dokonale ten skutečný imitovat. Kromě působivé demonstrace pak takovýto krok slouží i k dalšímu a podrobnějšímu porozumění problematice a v neposlední řadě tím lze získat i zajímavá a užitečná zařízení s širokým využitím.

Předpokládám, že téma dnešního dílu působí poněkud podivně, protože se vnucuje otázka, jak mohou mouchy souviset s letadly a přelomovými vynálezy? Z hlediska například dopravních letadel tu skutečně žádný zřejmý přínos není. Ale ze zcela obecného pohledu na létání jde o nesmírně zajímavé téma, protože hmyzí let představuje další ze způsobů, jak se lze pohybovat vzduchem. Ze všeho nejdříve se lidem povedlo ovládnout let prostředků lehčích vzduchu, jakými jsou horkovzdušné balony a vzdušochodě. Později bylo prolomeno tajemství letu ptáků, když se povedlo sestrojít první letadlo těžší vzduchu, a to jak s pevnou nosnou plochou, tak i s rotující nosnou plochou, což nám konečně otevřelo oblohu k takřka neomezenému využití. Zatím poslední realizací letu, které jsme přišli na kloub, je let hmyzu, který je velice specifický a nepodobá se žádnému z obou předchozích způsobů vzduchoplavby. Objasnění dalšího principu letu je tedy opravdu velmi revoluční událostí, která si rozhodně zaslouží pozornost.

Jak vlastně ona pověst o fyzikální nemožnosti letu čmeláka vznikla? O jejím původu koluje velké množství zpráv, které se sice liší ve jménu autora, který provedl výpočet takové nemožnosti, ale shodně všechny datují jeho počátek do 30. let 20. století. Jedna verze říká, že jako první se o tomto problému zmínil francouzský entomolog Antoine Magnan, jiná zase, že to byl německý fyzik Ludwig Prandtl, anebo v dalším případě má být původcem švýcarský fyzik Jacob Ackeret.

Ať už je autorem kdokoli z těchto pánů anebo dokonce někdo úplně jiný, nás to ve výsledku nemusí nějak zvlášť trápit, a tak se aspoň podívejme na tu nejhezčí verzi příhody, která koluje světem. Ta říká, že v 30. letech se v Německu u společné večeře sešel biolog s fyzikem aerodynamikem, přičemž biolog se svého kolegy aerodynamika zeptal, jestli by mu mohl povědět něco o letu hmyzu, například takového čmeláka. Fyzik se jal papíru a tužky, provedl několik výpočtů v nichž hrála roli hmotnost čmeláka a plocha křídel, přičemž uplatnil rovnice z aerodynamiky běžně používané pro letadla, a z výsledků zjistil, že hmyzí křídla neposkytují dostatečný vztlak pro to, aby mohl vůbec vzlétnout. A kuriozita byla na světě. Varianta s nevědomostí čmeláka, která mu let dovoluje, vznikla patrně v průběhu dalších let. V každém případě tu byl paradox, totiž že hmyz létá, i když by podle výpočtů létat neměl, což je věc, která v komunitě badatelů funguje podobně jako magnet, protože volá po objasnění, a tak na sebe poutá zájem.

Započaly se tak snahy o rozřešení této záhady. Neúspěch při aplikaci známých principů aerodynamiky, které se používají při výpočtech statického obtékání profilu křídla, dal impuls k hledání jiných způsobů, jak by asi mohl let hmyzu fungovat. Šlo o velice náročnou výzvu, protože jak se postupně ukazovalo, princip, díky kterému hmyz létá, není jeden, ale jde o souhru hned tří různých principů. K jejich objevu se navíc nedospělo najednou, ale postupným procesem, kdy se krok za krokem začalo čím dál více blížit k rovnicím, které stále více a více začaly podporovat hmyzí let. Proces zkoumání tohoto jevu se táhne už od 70. let.

Klíčem k otevření dveří vedoucích na správnou cestu k vyřešení tohoto tajemství byl poznatek, že obtékání křídel hmyzu není ani laminární, ani turbulentní, nýbrž vírové. Protože hmyz mávne svými křídly průměrně 200krát za sekundu (platí, že čím menší hmyz, tím rychleji mávne křídly, proto u některých druhů může počet mávnutí dosáhnout i 400 za sekundu, tak vysoká frekvence mávání je dána omezeným rozsahem pohybu, který se pohybuje vesměs od 90 do 120 stupňů), vzniká kolem značné množství vírů, které se velkou měrou zasluhují o generování vztlaku. Křídlo hmyzu totiž pracuje na velmi velkých úhlech náběhu, díky čemuž dochází k vytváření značného množství vztlaku. K tomuto zjištění dospěl dánský zoolog Torkel Weis-Fogh, který pomocí vysokorychlostní kamery zaznamenával pohyb hmyzích křídel. Takto vytvářený vztlak by ale sám o sobě nestačil k tomu, aby živočicha udržel ve vzduchu.

Druhým důležitým faktorem, který přispívá k letu hmyzu, je využití vírů, které se vytvořily předchozím mávnutím. Po každém mávnutí se vytvoří úplav, tedy dojde k rozvíření vzduchu, od kterého se následně po dalším mávnutí nový vír „odrazí“. Víry generované křídlem se jakoby skládají jeden na druhý, čímž se násobí jejich účinnost a zvětšuje se vztlak. K tomuto poznatku přispěly zejména studie prováděné v kouřové komoře, kde kouř zvýrazní víry ve vzduchu, takže vše je zřetelně vidět. Skládáním vírů tak dochází k vytváření již podstatně většího vztlaku než jaký byl

na začátku, ale pořád by nestačil pro udržení hmyzu ve vzduchu.

Tím posledním hráčem je tzv. Magnusův efekt. Jde o to, že v horní a dolní poloze se křídlo natáčí, čímž dochází i ke změně rychlosti, křídlo tak vlastně rotuje, díky čemuž se opačné strany křídla pohybují různými rychlostmi, čímž dochází i ke změnám rychlosti v okolí křídla. To lze nejlépe ilustrovat na „točeném“ míčku při stolním tenise, kdy se mu udělí jak dopředná rychlost, tak i rotace. Míček se tedy pohybuje vpřed, ale zároveň se i sám otáčí. Tímto způsobem dochází k vytváření dalšího vztaku. Magnusův efekt lze dokonce v podobě takzvaného Flettnerova rotoru uplatnit třeba i u lodi či letadla.

Jakmile se do rovnic zahrnuly všechny tyto tři jevy, totiž vírové obtékání křídla, kumulování vytvořených vírů a Magnusův efekt tvořený rotací křídla, výsledky začaly vycházet již zcela ve prospěch letu hmyzu. K tomuto všemu hmyz využívá tři různých druhů pohybu křídla. Může ovládat jak rozsah kmitu, tak úhel náběhu křídla, a konečně i sklon natočení křídel. Naopak vzhledem ke konstrukci svalů, které křídlem pohybují, nemůže ovládat frekvenci kmitů. Z toho plyne, že pokud například včela posbírá pyl a ztěžkne, musí zvětšit rozsah kmitu křídla, aby toto zvýšení hmotnosti kompenzovala. Objevením těchto tří principů byla záhada vyřešena. Přesto k lepšímu a podrobnějšímu porozumění bylo zapotřebí vytvořit robotický duplikát, který by sloužil jako model k dalším výzkumům. A nakonec by i mohl najít uplatnění v mnoha sférách lidské činnosti.

K dnešnímu robotickému hmyzu byla ale poměrně dlouhá cesta. Všechno začalo u již zmíněného Dána Torkela Weis-Fogha, který pracoval na univerzitě v britské Cambridgi. Jeho student Charles Ellington totiž sestrojil první robotické hmyzí křídlo, které věrně napodobovalo křídlo lišaje. Souběžně s tímto výzkumem probíhala totožná snaha i v Kalifornii, kde na univerzitě v Berkeley sestrojil Michael Dickinson robotické křídlo mouchy octomilky, pomocí kterého zkoumal specifčnost letu hmyzu. V roce 1998 získal společně se svým kolegou Ronem Fearingem grant ve výši dvou a půl milionu amerických dolarů, aby sestrojil celý robotický hmyz. Ukázalo se ale, že jde o podstatně náročnější práci než byla konstrukce jednoho křídla, takže výsledek nebyl úplně uspokojivý. V roce 1999 se k vývojovému týmu přidal i student Robert Wood. Ten se podílel na vývoji robotického hmyzu až do roku 2004, kdy promoval a následně se přesunul na Harvardovu univerzitu ve státě Massachusetts, kde založil vlastní laboratoř zabývající se vývojem robotického hmyzu. Na tomto místě pak konečně došlo k prvnímu sestrojení funkčního robotu v podobě hmyzu i k prvním úspěšným letům.

Po dvou letech fungování této laboratoře na Harvardově univerzitě a celkem sedmi letech Woodovy usilovné práce konečně v roce 2006 spatřil světlo světa slibný výtvar. Tehdy se totiž vůbec poprvé podařilo sestrojít robotický hmyz, který svými charakteristikami naplňoval tvůrce

nadějí, že by mohl vzlétnout. Robot vážil 60 miligramů a rozpětí činilo přibližně 3 centimetry. Ten se dokázal i vznést, ale o letu se vyloženě mluvit ještě nedalo, protože zatím se povedlo uskutečnit pouze několikasekundové skoky. Postupně se letové výkony zlepšovaly, ale k opravdovému řízenému a stabilnímu letu došlo až v roce 2012. Tehdy uskutečnil prototyp robotického hmyzu nazvaný RoboBee první řízený let po předem naprogramované trati, což byl do té doby nedosažitelný úspěch. RoboBee má aktuálně hmotnost 80 miligramů, rozpětí křídel stále tři centimetry, přičemž ta kmitají frekvencí 120 Hz, tedy 120 kmitů za sekundu. Práce ani nadále neutichají a výzkumníci se snaží vše zmenšit, ale především se snaží o energetickou nezávislost na externím zdroji, neboť v současnosti je robot neustále připojený kabelem ke zdroji energie. Proto se snaží i vyvinout způsob, díky kterému by mohl být let zcela autonomní. Kromě toho pracují i na integraci senzorů přímo do robotu. Těmito senzory se myslí buď kamery, které by mohly snímat okolí, a tedy sloužit jako dálkově ovládaná kamera, anebo nejrůznější chemické senzory, které by mohly například měřit množství a koncentrace různých prvků v prostředí, díky čemuž by bylo možné třeba v naprosté tmě zavalenin a dalších podobných míst hledat přeživší. Právě funkce robotického hmyzu jako záchranáře a průzkumné jednotky použitelné během různých živelních katastrof je jeho hlavním prezentovaným využitím. Občas se samozřejmě hovoří i o vojenském využití, například coby špiona, který by mohl nepozorovaně pronikat téměř kamkoli. Potenciálního využití je velké množství. Ovšem dokud nebude k dispozici palubní zdroj energie, jde zatím jen o hudbu budoucnosti.

Lze proto shrnout, že robotický hmyz, který máme v současné době k dispozici, ještě není dokonalou napodobeninou hmyzu skutečného. Jak autoři projektu rádi zdůrazňují, za těch pár let, které se tomuto projektu věnují, nemohou konkurovat evoluci, která na svých výtvorech pracovala stovky milionů let. Proto dnešní robotický hmyz je větší než hmyz živý, letové charakteristiky také nejsou na úrovni mistrovské akrobacie, jakou předvádí mouchy, ani není k dispozici takový zdroj energie, který by umožnil autonomní let robotu bez toho, aby musel být připojen kabelem k napájení. Odstranění těchto omezení je ale zcela jistě jen záležitostí času. Vzhledem k podpoře, kterou tento výzkum má, lze očekávat, že pokroku bude v tomto odvětví dosahováno poměrně rychlým tempem.

Otázkou, která se nabízí, je, zda jsou získané poznatky využitelné i jinak než vytvářením robotického hmyzu. Vzhledem k povaze tohoto typu letu není možné jeho využití v jiných rozměrových škálách než na jakých se pohybuje velikost hmyzu. U letadel proto takové řešení ani v budoucnu nenalezneme. Napadá mě ale jiná možnost, kdy by se dal zkonstruovat stroj využívající tohoto druhu letu, ale zároveň by i dosahoval rozměrů řádově větších než jsou rozměry vos či včel. Využití je to sice z říše vědecko-fantastické literatury, ale osobně se mi takové nápady líbí. Když

uvážíme, že u letadel je toto řešení nemožné zejména kvůli odporu, který vytváří velký úhel náběhu křídel, pak na takové planetě, kde by byl odpor prostředí podstatně menší, by takovýto druh pohybu mohl být možná nejlepším způsobem, jak se efektivně pohybovat. Takže potenciálního využití hmyzího typu letu u stroje velikosti letadla bychom se snad mohli dočkat v rámci budoucího vesmírného výzkumu, kdy by takovýto prostředek mohl nabízet dobré letové charakteristiky v prostředí planet a dalších vesmírných těles, kde by byl vhodný druh atmosféry, aby poskytoval podmínky pro tento druh letu. Je to samozřejmě jen spekulace, ještě k tomu navíc z nedohledně vzdálené budoucnosti. Ale potenciál tu zkrátka je větší než jen ve vytváření kopií živého hmyzu. V každém případě současný intenzivní výzkum na poli robotického hmyzu slibuje zajímavé výsledky. A mimo jiné nám i ukazuje, jak neskutečně zajímavý je nejen samotný let hmyzu, ale hmyz celý.

Kam dál?

Stránky laboratoře Harvardovy univerzity, kde se staví robotický hmyz:

<http://micro.seas.harvard.edu/>

Prezentační video robotického hmyzu z laboratoře Harvardovy univerzity:

<http://youtu.be/b9FDkJZCMuE>

Pěkné video letu včely zachycené vysokorychlostní kamerou: <http://youtu.be/2z9F6pVhR5o>

Popularizační přednáška o neurofyziologii letu hmyzu (opatřeno českými titulky):

http://www.ted.com/talks/lang/cs/michael_dickinson_how_a_fly_flies.html

Marek Vanžura

(Photo © Travis Rathbone)