



## 72. díl – Bat Bot aneb robotický netopýr

Robotický pták, robotický hmyz a dokonce i robotické semeno javoru. Všechny tyto přírodou inspirované létající stroje jsme si zde již v minulosti představili. Dlouhou dobu však poněkud stranou pozornosti výzkumníků zůstávalo poslední hájemství letu živočichů. Totiž let okřídlených savců. Konkrétně řádu letounů, mezi jejichž nejznámější představitele patří netopýři. Počátkem letošního roku předvedl veřejnosti tým amerických robotiků vůbec prvního robota, který velice přesně imituje let netopýra. Jmenuje se Bat Bot.

Letouni jsou jedinými savci, kteří si osvojili schopnost létat. A osvojili si ji vskutku bravurně, neboť svými letovými výkony a obratností s přehledem převyšují ptáky i hmyz. Ovšem kvůli svému ve většině případů nočnímu životu se jim nedostává patřičného ocenění. Potmě je zkrátka náročné sledovat jejich mistrovskou akrobacii. Z tohoto důvodu se studium letu živočichů zaměřovalo především na ptáky a hmyz, jež je snazší zkoumat. S rostoucím povědomím o dovednostech letounů se však i těmto tvorům začala věnovat pozornost ze strany výzkumníků v oblasti aerodynamiky. Poznatky získané tímto úsilím se ukázaly být natolik pozoruhodné, že velice záhy vznikl nápad jich využít v konstrukci malého létajícího prostředku s velice mimořádnými letovými vlastnostmi.

Řád letounů (latinsky *chiroptera*) se dělí do dvou podřádů, a to na netopýry (*microchiroptera*)

a kaloně (*megachiroptera*), přičemž na světě je více než tisíc druhů těchto létajících savců, což z nich dělá po hlodavcích druhou nejpočetnější skupinu savců. Hlavním rozdílem mezi netopýry a kalony je, že netopýři používají k navigaci echolokaci, zatímco kaloni nikoli. Existují samozřejmě i další rozdíly, z nichž zde dost možná nejdůležitější je, že většina netopýrů jsou hmyzožravci, zatímco kaloni se živí ovocem. A právě hmyzožravost je důvodem, proč se z netopýrů vyvinuli tak brilantní letci. Jak jsme si zde dříve uvedli (viz 8. a 68. díl), hmyz v létání rovněž vyniká. Jakožto predátoři tak netopýři musí létat o malinko lépe, aby dokázali hmyz ulovit a nezemřeli hladu.

Zásadní vliv na letové charakteristiky netopýrů má stavba jejich těla. Podobně jako u většiny ptáků je i u nich celá anatomie podřízena právě potřebě létat. Ovšem zde podobnost s ptáky více méně končí. Za nejdůležitější faktory mající vliv na let netopýrů lze označit anatomii předních končetin a vlastnosti kůže jakožto „potahu“ křídel. Přední končetiny netopýrů tvořící křídla mají v principu stejnou stavbu jako horní končetiny člověka, liší se však v odlišných proporcích jednotlivých kostí. Letouni tak mají stejně jako člověk pažní kost, loketní kloub, vřetenní a loketní kost, klouby zápěstí či pět prstů se třemi články, ale jejich vzájemné proporce jsou úplně jiné. Tato stavba křídel má vliv na způsob mávání křídel, jež je odlišné od ptáků.

Zatímco ptáci vrací křídlo z dolní úvrati do výchozí polohy tak, že pozmění úhel náběhu křídla, případně navíc ještě rozevřou letky, takže sníží odpor, netopýři při návratu do výchozí polohy křídlo složí, tedy končetinu ohnou v lokti a zápěstí, takže během pohybu do horní úvrati neklade křídlo téměř žádný odpor. Mávání je tak celkově výrazně efektivnější než u ptáků. Pochopitelně i netopýři pracují se změnami úhlu náběhu svých křídel, což opět vcelku nepřekvapivě svedou lépe než ptáci. A to zásluhou anatomie přední končetiny, kdy paže, předloktí i prsty umožňují precizně nastavovat křídlo tak, aby jeho obtékání bylo pro let netopýra v každém okamžiku nejpříhodnější. Opomenout nelze ani to, že některé kosti křídel netopýrů jsou poměrně dost ohebné. Tato elasticita rovněž přispívá k lepším letovým vlastnostem živočicha. Na kostře je samozřejmě uchyceno svalstvo, které se stará o samotný pohyb křídel a tvoří kostím oporu.

Blána křídel taktéž hraje nesmírně důležitou roli v netopýřím letu. Kromě toho, že je spojena se zadními končetinami, což umožňuje letounům aktivně tvarovat odtokovou hranu křídel, tak rovněž díky své proměnlivé tloušťce na různých místech křídla dovoluje lepší práci s obtékajícím vzduchem, k čemuž napomáhá citlivost kůže, která funguje jako velice přesné „měřicí zařízení“. Kožená membrána křídel navíc činí netopýři let prakticky neslyšným. Dalším z úkolů blány křídel je zachytávat lovený hmyz. Netopýr na lovu v průměru zkonzumuje kolem tisíce mušek za hodinu, což jinak řečeno znamená, že každé čtyři sekundy uloví jeden létající hmyz, a to tím způsobem, že jej zachytí plochou svých křídel podobně jako rybáři loví ryby do sítí, načež si tento hmyz přisune k ústům. Protože se ale mušky málokdy pohybují v rojích, musí lovcí netopýr neustále měnit směr

letu, čímž vzniká onen pověstný akrobatický let. K orientaci v prostoru slouží echolokace, což je jeden z hlavních znaků netopýrů, jak je zmíněno výše. Svoji kořist tak nehledají zrakem, který jim slouží především pro pohled na větší vzdálenosti mimo dosah „sonaru“, ale právě prostřednictvím zvukových vln o vysoké frekvenci.

O anatomii netopýrů se začali biologové systematicky zajímat koncem devatenáctého století, ale první skutečně významné práce týkající se jejich letu se datují do osmdesátých a devadesátých let století dvacátého. Snahy o replikaci samotného mechanismu tohoto letu v člověkem zhotovených zařízeních se pak objevují až ve století jedenadvacátém. Napomohly tomu zejména záběry pořízené vysokorychlostní kamerou, které podkryly největší ze záhad tohoto druhu letu.

Významných výsledků v tomto směru dosáhla Brownova univerzita ze státu Rhode Island, kde tým pod vedením Kennetha Breuera a Sharony Schwartzové zkonstruoval na přelomu let 2012 a 2013 robotické netopýří křídlo. To má na délku 20 cm, přičemž svojí stavbou kopíruje svoji biologickou předlohu. Kostru si výzkumníci vytiskli na 3D tiskárně a blána křídel je vyrobena ze silikonového elastomeru. Do pohybu je křídlo uváděno prostřednictvím lanek ovládaných servomotory. Tento model ale zdaleka nedosahuje schopností křídla živého tvora, které má na tři desítky stupňů volnosti, zatímco umělé křídlo má sotva polovinu (pro představu, lidská horní končetina má sedm stupňů volnosti). Robotické křídlo však nabízí neomezené možnosti provádět měření v aerodynamickém tunelu, což s živým tvorem lze jen obtížně. Navzdory svým zjednodušením se tedy křídlo stalo cenným zdrojem poznatků umožňujících dokonalejší porozumění zákonitostem netopýřího letu. Jedním z důležitých zjištění například bylo, že svaly v oblasti loktu snižují namáhání tohoto kloubu. To vědci zjistili teprve až díky svému modelu, u nějž opakovaně na tomto místě docházelo k destrukci. Pomohlo až odlišné vedení lanka. Při pohledu na podobu křídla živého tvora následně začalo dávat smysl, proč je svalstvo právě v této oblasti výrazně zesíleno. To do té doby bylo záhadou. Je velice pravděpodobné, že se dočkáme i dalších neméně fascinujících poznatků o stavbě těla a letu netopýrů, neboť výzkumy v Laboratoři aeromechaniky a evoluční morfologie Brownovy univerzity nadále pokračují.

Nebývalou pozornost si v letošním roce získal robotický netopýr nazvaný Bat Bot. Ten je dílem skupiny výzkumníků z Univerzity Illinois v Urbana Champaign a z Kalifornského technologického institutu. Jejich článek vydaný 1. února 2017 v prestižním časopise Science Robotics na sebe okamžitě strhl oči jak zájemců o robotiku, tak o letectví. A není divu, neboť se poprvé v historii podařilo úspěšně zkonstruovat létající aparát využívající k letu poslední z dosud ne zcela prozkoumaných principů, jejichž vzor nalezneme v živočišné říši. Robotikové Alireza Ramezani, Soon-Ju Chung a Seth Hutchinson nezanedbatelnou měrou vycházeli z poznatků získaných výzkumníky Brownovy univerzity. Oproti nim se nespokojili „pouze“ s křídlem, ale zkonstruovali

celého umělého netopýra. Jedná se tak o zásadní pokrok, i když i v tomto případě se inženýři nevyhnuli určitému zjednodušení předlohy, takže ani Bat Bot není stoprocentní replikou živého netopýra. Robotický netopýr nedosahuje totožné pohyblivosti křídel jako biologická předloha, stejně tak membrána tvořící „potah“ křídel nemá oproti své předloze proměnlivou tloušťku. Zjednodušení ale bylo částečně záměrem, neboť výzkumníci si celý pohybový aparát rozložili do jednotlivých funkčních celků, z nichž vždy izolovali jen nejdůležitější části, a teprve ty zapracovali do návrhu robotického netopýra. To jinak řečeno znamená, že ponechali základní prvky stojící za typičností netopýřího letu, vypustili však prvky, které se starají o „nejvyšší stupeň pilotáže“. Účelem robota je prohlubování znalostí o letu netopýrů, jakožto i vytyčení základních parametrů pro případné další pokročilejší létající aparáty využívající stejného principu.

Celková letová hmotnost robota Bat Bot činí 93 gramů. Křídlo je potaženo membránou o tloušťce 56 mikrometrů vyrobenou ze silikonu a vyztuženou uhlíkovými vlákny. Umělý netopýr je schopný samostatného letu, a to díky palubnímu mikropočítači, senzory vnímajícími prostor před robotem a inerciální měřicí jednotkou, která se společně se skupinou magnetických enkodérů stará o zajišťování povědomí o poloze v prostoru. Mávavý pohyb s frekvencí 10 Hz obstarává malý elektromotor. Přední a zadní končetiny jsou ovládány nezávisle, takže robot svede za letu tvarovat levé i pravé křídlo v podstatě stejně jako živý netopýr. Rozpětí činí 46,9 cm. Rychlost letu 14 km/h. Letové zkoušky probíhaly na illinoiské univerzitě v budově univerzitního skladu, která dovozovala natáhnout nad podlahou čtvercovou síť s délkou strany třicet metrů, což chránilo citlivou elektroniku před poškozením v případě pádu či tvrdšího přistání. Jak ale výzkumníci přiznávají, mnohokrát se jim stalo, že se do sítě netrefili. Vzlet probíhá hodem z ruky. Během letových testů se podařilo uskutečnit i takové manévry, jako je pád po křídle, což je obrat, který netopýři hojně využívají během lovu své kořisti.

Bat Bot není „jen“ technickým prostředkem ke studiu letu netopýrů, což by už samo o sobě bohatě stačilo, ale i předzvěstí nové kategorie malých bezpilotních letadel. Díky všem hlavním přednostem, jimiž se vyznačují živí netopýři, je i jejich robotický ekvivalent nadán značnou obratností a jeho letové vlastnosti obecně v téměř všech ohledech převyšují vlastnosti dnes používaných malých bezpilotních strojů, zejména multikoptér. Je tedy jen otázkou času, kdy se o stroje vycházející z konstrukce Bat Bota začne zajímat vojenský sektor. V neposlední řadě robotický netopýr podněcuje i zájem o netopýry živé, neboť dostatečně výmluvně ukazuje, o jak fascinující tvory se jedná. Ocenit tyto nedostižné letce můžeme i my. Výtečnou příležitostí k tomu je letní výlet do přírody s nocováním pod širákem. Šance na spatření netopýra na lovu, a tedy i jeho vybroušené akrobacie, je velice vysoká.

## **Kam dál?**

Prezentační video robotického netopýra Bat Bot: <https://youtu.be/qt7ueWPn58s>

Zpomalené záběry letícího kaloně egyptského: <https://youtu.be/YTKNZDjSaXQ>

Zpomalené záběry letícího netopýra hnědého:

[http://www.brown.edu/Departments/EEB/EML/assets/images/pages/gallery/Eptesicus\\_camh\\_09.mp4](http://www.brown.edu/Departments/EEB/EML/assets/images/pages/gallery/Eptesicus_camh_09.mp4)

Robotické křídlo z Brownovy univerzity: <https://youtu.be/67qvi3nBSSE>

Díl věnovaný robotickému hmyzu: <http://airspotter.eu/Download/RoboHmyz.pdf>

Díl věnovaný robotickým ptákům: <http://airspotter.eu/Download/SmartBird.pdf>

Díl věnovaný robotické nažce javoru: <http://airspotter.eu/Download/Samarai.pdf>

*Marek Vanžura*

*(Photo © Soon-Ju Chung)*