

Život v povětří aneb O vzniku a způsobu pohybu živočichů ve vzdušném prostoru

Při letmém pohledu vůkol kdekoli v přírodě přijde běžnému pozorovateli schopnost živočichů létat jako celkem obvyklá věc. Detailnějším studiem fenoménu pohybu ve vzdušném prostoru však zjistíme, že nejde zdaleka o takovou samozřejmost. Asi nejsilnějším argumentem je prostý fakt, že v průběhu celé evoluční historie mnohobuněčných živočichů vznikl aktivní let čili schopnost udržet se ve vzduchu po dobu, kterou si sami stanoví, pouze čtyřikrát (více také v Živě 2008, 7). Pojďme se blíže seznámit s klíčovými adaptacemi a spletitou cestou k nim vedoucí, které tuto úžasnou schopnost umožnily získat.



Hmyz

Prvotním impulzem k potřebě udržet se ve vzduchu byla zřejmě nutnost korekce pádu z vysoké vegetace. Predispozicí k možnosti manévrovat ve vzdušném prostoru byly u dávných předků létavého hmyzu početné tělní výrůstky (podrobněji v článku na str. 274–278), zděděné od koryšů, ze kterých se vyčlenili. Těm se v rámci zpevnění těla při výstupu na souš integrovaly části končetin do povrchu těla a zpočátku sloužily k nejrůznějším účelům, např. k termoregulaci. Mohly však hrát významnou roli i při vzniku struktur spojených s ovlivňováním směru pádu. Dobrým příkladem jsou současné chvostnatky (Archaeognatha), prastará linie hmyzu, jejíž předkové nikdy křídla neměli. Umějí přecházet do klouzavého letu (pasivního plachtění) při velmi dlouhých skocích,

kterými unikají před nepřáteli. Pasivní let však umožňuje svému majiteli pouze klepat, nikoli se ve vzduchu udržet. K tomu je třeba křídel a jejich mávání, které je energeticky velmi náročné. Jak vypadali nejstarší zástupci aktivně létajícího hmyzu, sice nevíme, neboť z kritického období, kdy tato schopnost vznikala – z devonu (před asi 419–359 miliony let) – nemáme k dispozici dostatečný fosilní záznam. Co ale víme, je, že právě v tomto období se zásluhou fotosyntetizujících řas i suchozemských rostlin výrazně zvýšil obsah kyslíku ve vzduchu (až na 30 % koncem karbonu, v devonu asi 20 % – ve srovnání s dnešními 21 %). To mohlo pozitivně ovlivnit efektivitu svalové práce při kmitání tělními výrůstky, což zase umožňovalo překlenout přechod směrem k aktivnímu letu během energeticky nejnáročnějších



1 Podivuhodně tvarovaná křídla drobného motýla pernatušky trnkové (*Pterophorus pentadactyla*)

2 Vážka čtyřskvrnná (*Libellula quadrimaculata*), zástupce hmyzu s archaickým uspořádáním letového aparátu

3 Na rozdíl od většiny ostatních broků nemusejí zlatohlávci při vzletu zvednout krovky, křídla dokážou vysunout speciálním zářezem po stranách krovek. Druh *Trichostetha fascicularis*

4 Ne všechny modifikace tvaru křídel zřejmě souvisejí přímo s přírodním výběrem působícím na letové schopnosti. To je asi i případ stuholetky jižní (*Nemoptera sinuata*). Foto P. Šípek (obr. 1–4)

fází, kdy křídelní struktury ještě nebyly dokonale. Vývoj schopnosti aktivně létat byl zjevně velice rychlý – v karbonu (před asi



359–299 miliony let) již máme díky bohatému fosilnímu záznamu doložen aktivní let u nejméně 10 různých linií hmyzu. Ve stejné době zřejmě narazil hmyz i na své velikostní limity spojené s omezeními danými konstrukcí těla a biomechanikou aktivního letu. Největší zástupci létavého hmyzu, např. vážka *Meganeuropsis permiana* (řád Meganisoptera) s rozpětím křídel 71 cm a délkou těla 43 cm, se proháněli povětřím začátkem následujícího období permu. Perm skončil před 252 miliony let v důsledku klimatického rozvratu způsobeného sopečnou aktivitou v oblasti dnešní Sibíře, při kterém vymřelo přes 80 % mořských organismů a 70 % suchozemských obratlovců (blíže Živa 2021, 5: 198–200). Hmyz tuto katastrofu sice přežil, jeho zástupci však již nikdy nedosáhli takových rozměrů. Naopak to vypadá, že úspěšnosti co do počtu druhů (jde o zdaleka nejpočetnější skupinu mnohobuněčných organismů) dosáhl spíše díky miniaturizaci – nejmenší zástupci recentních létajících skupin, např. brvušky (Mymaridae), drobněnky (Trichogrammatidae) a pírnici (Ptiliidae), dosahují velikosti jen dvou až tří desetin milimetru. K největším létajícím zástupcům pak patří jihoamerický motýl tyza velká (*Thysania agrippina*) s rozpětím křídel kolem 30 cm.

Hmyzí křídla jsou párová a jejich základní stavební materiál tvoří polysacharid chitin, různé vosky a další organické sloučeniny. Trubičkovité vzdušnice do nich přivádějí vzduch, drobné žilky rozvádějí hemolymfu (obdobu krve), jejímž tlakem je pak pružnost celého křídla regulována. Pomocí pumpování a odsávání hemolymfy dokážou různí zástupci pro ně charakteristickým způsobem obvykle křídla pro přistání a před vzletnutím skládat a rozkládat, protože mimo aktivní let jde o rozměrnou strukturu. Žilnatina křídla bývá taxonomicky velmi specifická. Křídlo je zároveň dobře inervované, přičemž nervy napojené na systémy chloupků na povrchu slouží jako senzory sledující protékání okolního vzduchu. Zástupci nejmenších skupin hmyzu mají křídla často netypicky tvarovaná, složená ze složitých trásníků – odtud ostatně pocházejí i jejich názvy, např. pírnici, brvušky nebo trásněnky (*Thysanoptera*). U některých skupin se vyvinula mechanická ochrana křídel ve složeném stavu, obvykle přeměnou prvního páru (jako např. krovky u brouků – Coleoptera, polokrovky u ploštic – Heteroptera), u jiných jsou křídla redukována na jeden létací pár

(např. dvoukřídli – Diptera). Křídla hmyzu jsou v typickém provedení plochá a s výjimkou vážek (Odonata) a jim příbuzných skupin, které jimi mávají nahoru a dolů, se na křídelním kloubu, sloužícím k upevnění k tělu, pohybují po obloukové trajektorii vpřed a vzad. Při pohybu vpřed je křídlo mírně nakloněné a za jeho horní náběžnou hranou vzniká vzdušný vír, k němuž je křídlo přisáváno, což zajišťuje potřebný vztlak. Při pohybu vzad se křídlo otočí spodní stranou nahoru a i při tomto pohybu nad náběžnou hranou vzniká obdobný vír se stejným efektem. Koordinace křídel je přitom velmi sofistikovaná, k čemuž slouží velké množství senzorů na jejich povrchu. Asi nejlépe mají senzory vyvinuty dvoukřídli, sice jen na jednom páru křídel, ale druhý pár je přeměněn na kyvadélka (haltery), která jsou těmito senzory doslova nabita. Čtenářům jsou jistě známy letecké výkony much pestřenek (*Syrphidae*), jež dokážou nehybně stát na místě i za mírného větru, což vyžaduje skutečně přesnou koordinaci pohybu křídel. Totéž dovedou zástupci motýlů z čeledi lišajovití (*Sphingidae*), kteří i v poryvech větru neohroženě za letu sají z květů nejrůznějších rostlin.

Pohyb křídel zajišťuje svalstvo, přičemž u hmyzu existují dva zcela odlišné způsoby, jak je pohon svaly provozován. Bazálnější evoluční linie létajícího hmyzu (Paleoptera), kam patří současné vážky a jepice (Ephemeroptera), mají svaly napojené přímo na křídla. Jejich smrštěním se křídla zvedají a povoláním klesají, tím je dosaženo mávavého pohybu nahoru a dolů. U odvozenějších skupin (Neoptera) se svaly neupínají přímo ke křídům, ale k pružným stěnám hrudi. Při jejich smrštění se stěna prohne, při relaxaci narovná, s ní se pohybují i křídla. Létací svalstvo hmyzu je opravdu mohutné a může dosahovat až třetiny celkové hmotnosti jedince. K jeho efektivnímu provozu je třeba velké množství energie, kterou hmyz získává spalováním nejen cukrů, ale i tuků, a některé skupiny (např. brouci) dokonce aminokyselin. Efektivita spalování je vysoká i díky speciálnímu způsobu dýchání, pomocí tubulárního systému vzdušnic, přivádějících kyslík přímo ke svalům. Pro efektivitu letu je důležitá frekvence mávání křídly, která je odvozená od poměru velikosti a tvaru křídel a těla. Mohutnější druhy s kratšími křídly tak musejí kompenzovat svou hmotnost rychlejším kmitáním. To může mít frekvenci od jednotek kmitů za sekundu u velkých motýlů po více než tisíc kmitů za sekundu

5 Pterosaur *Pterodactylus (Diopecephalus) kochi*. Svrchní jura, před asi 145–150 miliony let. Rozpětí křídel dosahovalo necelého 1 m. Fosilie pocházejí z vápenců v Solnhofenu, Německo. Autor malby P. Modlitba, foto V. Hnátek

6 Ukázka konvergentního vzniku dlouhých štíhlých křídel v důsledku podobného způsobu života u dvou zcela nepřibuzných ptačích linií – albatros Sanfordův (*Diomedea sanfordi*) a racek jižní (*Larus dominicanus*). Oba hledají potravu nad oceánem pomocí dynamického plachtění. Albatrosi jsou ale mnohem větší vytrvalci a dokážou létat bez mávnutí křídla hodiny.

7 Zástupci některých skupin vodních ptáků nejsou sice špatnými letci, dostat se do vzduchu však pro ně bývá vzhledem k velké plošné zátěži křídla obtížné a ke vzletu potřebují nabrat dostatečnou rychlost rozběhem po vodní hladině. Vzlétající labuť velká (*Cygnus olor*)

8 Typický tvar křídel (velmi široká, s dlouhými prstovitými koncovými letkami) ptáků, kteří využívají stoupavé proudy ohřátého vzduchu k plachtění. Mistry tohoto stylu letu jsou třeba kondori, supi a orli. Orel mořský (*Haliaeetus albicilla*). Foto I. Mikšík (obr. 6–8)

u drobných dvoukřídlych (např. pakomárků – Ceratopogonidae). Zde se opět ukázala vynalézavost evoluce: u druhů mávajících rychle křídly dochází na jeden nervový vzruch k vícenásobné svalové kontrakci, což je unikátní adaptace, která nemá u jiných živočichů příliš obdoby (stejně funguje např. tymbál u samečů cikád – Cicadidae). Kromě svalů zajišťujících mávání má hmyz větší množství svalů upínaných přímo na kloub, kterým je křídlo připevněno k hrudi, a korigujících drobné nastavení pro složitější letové manévry. U skupin se dvěma páry křídel bývá mávání synchronní, u některých skupin jsou pak zadní křídla při letu zakleslá do předních pomocí drobných háčků. Výjimkou jsou vážky, jež mohou mávat každým párem nezávisle, dokonce i protichůdně vůči druhému páru, což jim umožňuje velmi přesný let, včetně stání na místě, ze kterého ale dokážou obrovskou rychlostí akcelarovat. Souvisí to s jejich dravým způsobem života – patří k velmi úspěšným lovcům ve vzduchu.

Pterosauři

Pterosauři byli první skupinou obratlovců, u níž se již v průběhu raných druhohor v triasu (před 252–201 miliony let) vyvinula



schopnost aktivního letu. Řadíme je mezi archosaury, skupinu zahrnující i dinosau-ry a moderní ptáky nebo třeba krokodýly. Vyvinuli se z pozemních plazů, přičemž předchůdcem zřejmě byli menší, převážně býložraví zástupci. Jejich úsvit je však zahalen tajemstvím. Za pravděpodobné předky považují někteří odborníci zástupce čeledi Lagerpetidae, kteří se pohybovali po zadních končetinách a přední končetiny měly nápadně prodloužené články prstů – tedy ideální preadaptaci pro vznik létavé končetiny, pterosauřího křídla. Teorií o nepravděpodobnějších selekčních tlacích vedoucích ke vzniku jejich aktivního letu je několik. Zahrnují buď souvislost s řízením a prodlužováním pádu u druhů žijících na vysoké vegetaci, nebo možnost prodlužování skoku při běhu po zadních nohách roztažením předních končetin s blanami na prstech u druhů běhajících po zemi.

Nejstarší známí zástupci pterosaurů, např. *Preondactylus* žijící před 217–213 miliony let na území dnešní Itálie, měli robustní hlavu s čelistmi vybavenými mohutnými zuby, krátký krk a dlouhý ocas zakončený placatou strukturou. Vesměs šlo o drobnější formy velikosti zhruba holuba. V průběhu evoluce však pterosauři výrazně rozšířili svou velikostní škálu. Nejmenší druhy byly vysloveně trpasličí, jako *Nemicolopterus* známý z Číny z časné křídly (před asi 120 miliony let) o velikosti vrabce s dlouhým ocasem, zatímco největší obr – *Quetzalcoatlus*, z konce křídly (před 69–66 miliony let) v Severní Americe – dosahoval v rozpětí křídel až přes 10 m a hmotnosti mezi 80 a 250 kg, což z něj činí jednoho z největších létajících živočichů, kteří kdy na Zemi existovali.

Pterosauři měli křídla tvořená tenkou membránou kůže (brachiopatagium), nataženou mezi prodlouženým čtvrtým prstem na přední končetině a tělem. Dále měli menší blanu před přední končetinou napnutou mezi zápěstní kostí a ramenem, propatagium, které tvořilo náběžnou hranu křídla a jeho pohybem zvíře řídilo směr a intenzitu proudění vzduchu kolem křídla a tedy i celkový vztlak. U některých druhů vše doplňovalo uro- nebo cruropatagium – podle toho, jestli spojovalo jen končetiny, nebo i ocas. Kůže se skládala ze tří vrstev, z nichž bazální byla prostoupena hustou sítí cév, střední zejména kolagenovými vlákny dodávajícími blaně pevnost a pružnost, svrchní vrstva pak byla porostlá jemným chmýřím, podobným srsti savců nebo peří ptáků. Kromě těchto tzv. pykno-

vláken však objevy dlouhých struktur podobných ptačímu peří na hlavě, nejspíše barevných a sloužících k signalizaci, naznačují, že peří se vyvinulo u pterosaurů buď nezávisle na ptáčích, nebo je spolu s ptáky zdělili již od společného předka, který mohl žít někdy na počátku druhohor. Na rozdíl od ptáků však peří v evoluci letu této skupiny nehrálo významnou roli.

Kosti pterosaurů byly vyklenuté a duté, což snižovalo jejich hmotnost a usnadňovalo let. Dalšími adaptacemi spojenými s aktivním letem bylo zpevnění kostry srůstem obratlů hrudní páteře, zmohtnění hrudní kosti umožňující efektivní připojení svalů potřebných pro mávání křídly a klobouk spojující lopatku s páteří, znak mezi čtyřnohými obratlovci zcela unikátní. V průběhu druhohor se typ tělesné stavby pozměňoval a převládaly formy, kterým říkáme pterodaktylové. Ti byli charakterističtí velkými a protáhlými hlavami, krátkým ocasem a nohama, pomocí nichž dobře kráčeli po zemi, nebo dokonce i pronásledovali kořist během. Diverzifikace se projevila také na úrovni tvaru křídla a tedy letových schopností – druhy s krátkými a širšími křídly zvládly manévrovat v zapojenějším prostoru vegetace, zatímco dlouhokřídle druhy dokonale ovládly plachtění v otevřeném prostoru s pomocí vzestupného proudění, ale i nad širým oceánem. Modely vycházející z aerodynamických parametrů jejich tělesné konstrukce naznačují, že např. již zmíněný obří *Quetzalcoatlus* mohl létat ve výšce kolem 5 000 m a zvládl urazit až neskutečných 16 tisíc km! Diverzifikace pterosaurů se projevila i na úrovni potravních nik, zahrnovali jak druhy dravé, velmi často rybožravé (rod *Moganopterus*), tak herbivorní (např. *Tupandactylus* s „papouščí“ zobákem). Nechyběli ale ani filtrátoři vody (rod *Pterodaustro*). Pterosauři, společně s dinosaury, vymřeli na přelomu křídlového období a paleogénu před 66 miliony let vlivem kataklyzmatičkých událostí spojených s dopadem asteroidu v oblasti Střední Ameriky. Jejich více než 150 milionů let dlouhá existence však vypovídá o neskutečné úspěšnosti.

Ptáci

Představují zřejmě nejúspěšnější ze všech tří skupin obratlovců se schopností aktivního letu, neboť se jim podařilo osídlit prakticky všechny typy terestrického prostředí od tropů po polární oblasti a od moře po velehory. Jejich celková druhová rozmanitost dnes čítá přes 10 tisíc druhů,

což je téměř dvakrát tolik než u savců, se kterými se ptáci vyvíjeli paralelně. Vděčí za to celé řadě velmi úspěšných adaptací, z nichž naprostá většina však souvisela s adaptací pro ptáky zcela klíčovou – schopností létat.

Ptáci jsou považováni za přímé potomky teropodních dinosaurů, konkrétně skupiny známé jako Maniraptora. Původní selekční tlak na vznik letu pocházel nejspíše z potřeby korigovat pád ze stromů, alternativně se předpokládá, že máváním opeřenými předními končetinami předci ptáků prodlužovali skoky při úprku před predátory. Fosilie nejstarších ptáků, např. 150 milionů let starý *Archaeopteryx*, vykazují řadu znaků společných s dinosaury. Jednou z klíčových adaptací pro let byla evoluce peří. Vzniklo už u dinosaurů předků – opeřených dinosaurů známe dnes přes 40 druhů – jeho prvotní význam je však stále diskutovaným tématem. Peří poskytuje nejen tepelnou izolaci, ale umožňuje zároveň udržovat aerodynamický tvar těla, pro let nezbytný. V počátečních fázích mohla být funkce peří spíše termoregulační nebo signalizační. Jeho hlavní stavební jednotkou je beta-keratin, strukturální bílkovina zajišťující pevnost a pružnost. Základní stavba, která však podléhá četným modifikacím, zahrnuje osovou část (osten) a z něj vybíhající paprsky s drobnými háčky. Jímí k sobě jednotlivé paprsky zapadají principem suchého zipu, takže ptačí pero je struktura velmi kompaktní, ale také značně flexibilní a odolná k mechanickému poškození. Zásadní vlastností hlavně křídelního peří je asymetrický tvar, kdy pravá a levá část paporu bývají většínou nestejně široké a často ještě mírně prohnuté. Pera vyrůstají jen na některých částech ptačího těla, zvaných pernice, a podle umístění mají specifický tvar a funkci. Prachové peří roste nejbližší k tělu a slouží k tepelné izolaci. Obrysová peří pokrývá tělo a udržuje jeho aerodynamický tvar. Pro schopnost aktivního letu je ale nejdůležitější zejména třetí typ – letky na křídlech, a dále rýdovací pera na ocase. Jsou delší a pevnější než ostatní typy peří a jejich struktura umožňuje efektivní generování vztlaku. Ten se přímo odvíjí od asymetrického kapkovitého průřezu ptačího křídla porostlého peřím. Při pohybu vpřed je dráha vzduchu, který křídlo obtéká, delší na jeho horní straně než na spodní a rozdílem vyrovnávací sil je síla působící směrem nahoru, tedy vztlak. Vztlak vzniká i pouhým klouzavým pohybem roztaženého



9



10

křídla kupředu. V typickém provedení je tah udržován máváním křídel – pomocí koncové části křídla vybavené speciálně tvarovanými ručními letkami pták při každém mávnutí zabírá mírně dozadu. Při zvedání křídla vzhůru se část letek sklopí naplocho, čímž sníží odpor vzduchu a zabrání vzniku opačně působícího tahu směrem dolů. Rychlost mávání se odvíjí od celkového tvaru křídla, zejména poměru šířky křídla a délky loketní a ruční části. Druhy s dlouhými křídly prokládají jednotlivá mávnutí dlouhým plachtěním, zatímco druhy s křídly krátkými, kde jsou ruční a loketní část podobné délky, musejí mávat častěji. Tvar křídla dokonale odráží letové schopnosti a i podle pouhého obrysu lze velmi přesně odhadnout hlavní styl letu majitele.

Aktivnímu letu se v průběhu evoluce plně podřídily i kostra a svalstvo. Ptačí kostra má silně redukovaný počet kostí (počty prstů, žeber), řada kostí je srostlá (např. na lebce, v oblasti pánve a ocasu, běháček), kosti jsou duté a vyztužené houbovitou strukturou, což vedlo k výraznému odlehčení celého těla. Informace, že čáp bílý (*Ciconia ciconia*), který je v sedě vysoký přes 1 m a s rozpětím křídel kolem 2 m, váží pouze kolem 2–3 kg, je proto nepoučenými posluchači vždy přijímána s velkým podivem. Současní létající ptáci se rozpětím křídel pohybují v rozmezí od přibližně 5,5 cm (kolibřík kalypa nejmenší – *Mellisuga helenae*) po 3,6 m (albatros stěhovavý – *Diomedea exulans*), váhově pak od zhruba 2 g (opět kalypa nejmenší) do asi 20 kg (drop kori – *Ardeotis kori*). Přestože hmotnost i velikost mají u ptáků horní konstrukční limity, dnešní druhy jich určitě nedosahují. Mezi největší a nejtěžší létavé ptáky, kteří kdy žili, patřil miocenní dravec *Argentavis magnificens*, dosahující rozpětí křídel přes 6 m a hmotnosti kolem 70 kg, který brázdil plachtivým letem oblohu nad svahy jihoamerických And. A nebyl zřejmě zcela největší – nedokonale zachované fosilie třetihorních mořských ptáků rodu *Pelagornis* naznačují, že mohli mít rozpětí křídel až přes 7 m (ale při menší hmotnosti 20–40 kg). Let takových obrů zřejmě umožňovalo i intenzivnější vzdušné proudění v oblastech, kde se vyskytovali, v důsledku jiného rozložení kontinentů.

Nejmohutnějšími orgány létajících ptáků jsou nepřekvapivě svaly, které ovládají křídla. Unikátní je u nich už umístění – jak sval přitahující křídla k tělu (velký sval prsní, *musculus pectoralis major*), tak jeho

antagonista (hluboký sval prsní neboli sval podklíčkový, *musculus supracoracoideus*), jsou upevněny k mohutnému hřebenu hrudní kosti a leží ve vrstvách nad sebou. Jejich protichůdné působení je zcela unikátně zajištěno tak, že sval, který křídlo zvedá, se upíná k pažní kosti přes důmyslnou kladku úponem procházejícím přes hlavici krkavčí kosti a ramenní kloub. Ptačí svalstvo má jedinečnou stavbu i funkčnost, jeho vysoké efektivitě napomáhá rovněž vysoce efektivní přísun kyslíku díky speciálním plicím, doplněným vzdušnými vaky. Přísun kyslíku do svalů je tak mnohem účinnější než např. u savců. U druhů podnikajících náročné dálkové migrace se navíc objem svalové hmoty i celkový metabolismus zapojený do svalové práce sezonně výrazně mění. Díky těmto adaptacím předvádějí ptáci pro nás zcela neuvěřitelné výkony. Např. břehouš rudý (*Limosa lapponica*) z Aljašky na jeden zátaž uletí během zhruba 10 dnů nad Tichým oceánem více než 12 tisíc km na zimoviště na Novém Zélandu. Bekasina větší (*Gallinago media*) ze Skandinávie se za tři dny soustavného letu ve výšce přes 5 km přesune na svá středoafriká zimooviště vzdálená přes 6 tisíc km a evropští rorýsi velcí (*Tachymarptis melba*), ale téměř jistě i náš rorýs obecný (*Apus apus*), se po vyskočení z hnízda nedotknou pevné půdy po celý následující rok, dokud se nevrátí na hnízdiště. Po celou tu dobu zůstávají v letu, při kterém samozřejmě i spí.

Nejrůznější modifikace stavby těla, opeření a další nezvyklé adaptace umožnily ptákům kolonizovat různé typy prostředí včetně vody (např. potáplice – Gaviiformes nebo tučňáci – Sphenisciformes), volného prostoru nad otevřeným oceánem (albatrosovití – Diomedidae, buňákovití – Procellariidae), a dokonce i jeskyně (lelek gvačaro jeskynní – *Steatornis caripensis* a rorýsi salangany několika rodů).

Letouni

Jsou poslední skupinou, u níž se vyvinula schopnost aktivního letu. Stalo se tak až počátkem třetihor, v raném eocénu (před asi 56–55 miliony let), kdy se většina souše rozkládala v tropech, globální teplota byla o 14 °C vyšší než dnes (!) a noční příroda se hemžila množstvím létajícího hmyzu, který byl do noční části dne vytlačován denními ptačími predátory. Vzdušný prostor nabitý potenciální kořistí představoval prakticky zcela volnou potravní niku a není divu, že každý tvor, který do

9 Studie anatomie netopýřího letu na příkladu vrápence malého (*Rhinolophus hipposideros*). Foto D. Horáček
10 Netopýří křídlo je tvořeno velmi tenkou, ale živou létací blanou plnou cév, nervů, svalových vláken a hustého systému velmi drobných senzitivních brv. Foto R. Lučan

11 Letucha filipínská (*Cynocephalus volans*) dokáže plachtěním zdolat vzdálenost i přes 150 m. Foto D. Vondráček

něj dokázal skočit a otevřít ústa, měl o zívnutí postaráno. Pokud dokázal po onom skoku i bezpečně přistát a nezabít se o nějakou nečekanou překážku, tím lépe. Je velmi pravděpodobné, že předci netopýřů se spolu dorozumívali zvuky o vysoké frekvenci a postupně se naučili používat ozvěny těchto zvuků i k orientaci. Prodloužené prsty, které jim umožnily přidržovat se větvi na stromech, a postupný rozvoj blan mezi těmito prsty, jejichž roztažení pomohlo prodlužovat délku skoku při lovu letícího hmyzu, mohl být směr, kterým se evoluce letounů ubírala. Jak to bylo doopravdy, zatím nevíme, že to ale byla cesta úspěšná, dokazuje skutečnost, že letouni (Chiroptera) jsou dnes se zhruba 1 500 druhů hned po hlodavcích (Rodentia) druhým nejpočetnějším savcím řádem.

Nejstarší fosilie z doby před více než 50 miliony let z oblastí Severní Ameriky (např. rody *Icaronycteris* a *Onychonycteris*) a Evropy (např. *Hassianycteris* a *Palaeochiropteryx*) již představují hotové a často i poměrně specializované netopýře. Z nich asi nejprimitivnější je severoamerický druh *Onychonycteris finneyi*, který nese ještě řadu archaických znaků, včetně zachovaných drápů na konci všech prstů přední končetiny. Dlouho se vedly spory, zda se nejstarší netopýři již orientovali pomocí echolokace. Její používání lze odvodit od velikosti a stavby ušních pouzder na lebce. Bohužel prakticky všechny lebky nejstarších netopýřů byly vlivem deformačních procesů při fosilizaci zploštělé nebo poškozované. Světlo do této otázky přinesly až nedávné objevy dokonale zachovalých lebek netopýře *Vielasia sigei* starých 50 milionů let a nalezených ve Francii (v souvrstvích Quercy Phosphorites), ze kterých je při srovnání s poměry u dnešních letounů patrné, že již tehdy echolokaci používali.

Netopýři létají pomocí křídel konstruovaných zcela jinak než u ostatních živočichů. Křídla jsou tvořena létací blanou (patagiem), nataženou mezi extrémně pro-



dlouhými čtyřmi prsty (druhým až pátým) předních končetin a také mezi redukováným prvním prstem (palcem) a mezi tělem a zadní končetinou. U většiny druhů je létací blána natažena i mezi zadními končetinami a je v ní nejrůznějším způsobem ukotven i ocas – proto se této části říká ocasní létací blána (uropatagium). Patagium je tvořeno velmi tenkou, ale pevnou, dokonale inervovanou a prokrvenou kůží. Na rozdíl od ptačího peří nepropouští vzduch. Při zvedání křídla se blána deformuje tak, aby kladla co nejmenší odpor, při záběru směrem dolů se naopak plně roztáhne a zabírá naplno. Netopýr tak vzduchem v zásadě plave, byť tato analogie není zcela přesná. Odlehčení a zpevnění kostry je zařízeno celkovým ztenčením a protažením kostí podílejících se na stavbě křídla, nejmohutnější vřetení kost tvořící předloktí je zároveň výrazně zploštělá, což zajišťuje snížení odporu vzduchu. Některé u jiných savců mohutné kosti jsou naopak u letounů zčásti redukovány (kost loketní, kosti zápěstí), výrazně méně svaloviny má větší část přední končetiny, s výjimkou svaloviny na kostech nejbližší k tělu. Létací blány jsou dokonale ovládnány jedním pohybem prstů, jednak bohatým systémem dobře inervovaných jemných svalových vláken, která se upínají přímo k létací bláně. Blána je hustě pokryta drobnými chloupky, sloužícími jako čidla průběžně analyzující proudění vzduchu.

Létací blány nevznikly jen k letu, řada druhů pomocí nich také loví kořist. Např. vrápenci (čeleď Rhinolophidae), lovíci často v hustě zapojené vegetaci, dokážou lapat můry křídelnými blanami, netopýr vodní (*Myotis daubentonii*) sbírá hmyz těsně nad vodní hladinou a ocasní létací blánou a netopýr řasnatý (*M. nattereri*) stírá často pomocí košíčku vytvořeného z ocasní blány dokonce nelétavé larvy hmyzu a pavouky rovnou z listové stromů.

Tvar netopýřího křídla přímo ovlivňuje letové schopnosti a ty jsou zase podřízeny převažující potravní strategií. Netopýří

loví rychlým letem ve velkých výškách (např. tadaridy – Molossidae, létající běžně i více než 1 km nad zemí) mají křídla dlouhá a štíhlá, netopýří lovíci pomalým, klikatým letem uvnitř zapojené vegetace (jako vrápenci nebo pavrápenci – Hipposideridae) mají křídla krátká, široká a zakulacená. O dokonalosti jejich letu vypovídá schopnost některých druhů proplétat se úzkými podzemními prostory, jiné druhy, živící se nektarem, dokážou v letu stát na místě, zatímco se dlouhým jazykem noří do hlubokých květů pralesních rostlin, a další druhy, migrující sezonně do vzdálených oblastí, překonávají v poměrně krátkém čase velké vzdálenosti. V Evropě patří mezi rekordmanky pouhých 8 g vážící netopýr parkový (*Pipistrellus nathusii*), u něhož byl zaznamenán během migrace přesun na vzdálenost přes 2 400 km z Ruska do francouzských Alp (blíže v článku na str. 294–296).

Pasivní letci

Kromě detailně představených čtyř skupin živočichů, které ovládly vzdušný prostor aktivním letem, existuje množství živočichů, kteří se dokážou alespoň dočasně v povětří s různou úspěšností udržet. Jejich pohyb ale vždy označujeme termínem pasivní let neboli plachtění, byť často podávají fantastické výkony.

Mezi bezobratlými je pasivních letců řada, např. mláďata nejrůznějších druhů pavouků (viz str. 287–289), kteří se zejména na podzim vydávají na cestu do světa ve stylu „kam mě vítr zavane“ pomocí pavučinových vláken vypuštěných z vyvýšených míst do větru. Poeticky je nazýváme „babí léto“. Efektivnímu vzletnutí tímto způsobem ve skutečnosti napomáhá nejen vítr, ale i elektrický náboj a kromě pavouků (typicky mladých jedinců) tak cestují i housenky řady druhů motýlů nebo roztoči svilušky (Tetranychidae). Vzdálenost, na niž mohou být pasivně unášeni, může jít až do stovek kilometrů. Za částečně pasivní let lze považovat

i neuvěřitelné dálkové migrace sarančí, které sice umějí létat, bez využití vzdušných proudů nad oceánem by však nedokázaly překonat vzdálenost mezi Afrikou a Amerikou, což se občas skutečně děje.

Další výborné pasivní letce mezi bezobratlými nalézáme překvapivě u hlavonožců v moři. Některé druhy drobných kalmarů (Ommastrephidae) využívají tryskový pohon k výskokům nad hladinu a těmito skoky, dlouhými až kolem 1 m, výrazně zrychlují svůj pohyb oceánem. Oliheň karibská (*Sepioteuthis sepioidea*) dokáže dělat vzdušné skoky až 10 m dlouhé a rekordmankou je krakatie drápkatá (*Onychoteuthis banksi*), u níž slavný norský cestovatel Thor Heyerdahl pozoroval při plavbě Tichým oceánem skoky dlouhé až kolem 50 m!

Zůstaneme-li v mořském prostředí, ale zaměříme se na obratlovce, patří k nejlepšími pasivními letcům „létající“ ryby z čeledi letounovití (Exocoetidae). Pomocí zvětšeného páru prsních a někdy i břišních ploutví mohou po vyskočení z vody vylétnout v protivětru až do výšky 6 m a překonat vzdálenost kolem 400 m. Podobné schopnosti má i několik druhů ryb z jiných skupin, např. motýlkovec africký (*Pantodon buchholzi*), ovšem únik z vody před predátorem dosahuje nanejvýš 2 m. Něco podobného ostatně dokážou i naše oukleje obecné (*Alburnus alburnus*), které po vyplašení vyskakují nad vodní hladinu a jejich skoky do vzduchu dosahují i kolem 1 m.

U čtyřnohých obratlovců nalezneme pasivní letce např. mezi obojživelníky (asijské žáby létavky rodu *Rhacophorus* nebo jihoamerické listovnice), plazy (asijské agamy dráčky rodu *Draco*, asijský gekoni dříve řazení do rodu *Ptychozoon*, nyní v šířeji pojatém rodu *Gekko*, asijský hadi bojgy rodu *Chrysopelea*), ale neznámější „plachtiči“ patří mezi savce. Bohatý fosilní záznam ukazuje, že už v průběhu druhohor vznikla celá řada savčích linií obsahujících druhy obdařené kožní řasou protaženou mezi předními a zadními končetinami, která i současným druhům umožňuje klouzavý let. Je proto jasné, že pokusů o ovládnutí vzdušného prostoru bylo v průběhu savčí evoluce více. Mezi současnými savci vládne touto schopností několik rodů hlodavců (poletušky v severských lesích Ameriky a Eurasie a poletuchy v lesích tropické Asie – podčeď Pteromyinae, a šupinatky – Anomaluridae v tropických lesích Afriky), jeden rod vačnatců (australské vakoveverky rodu *Petaurus*) a oba zástupci řádu letuchy (Dermoptera) z jihovýchodní Asie. Letuchy mají kožní blánu nejen mezi předními a zadními končetinami, ale kolem celého těla a je v ní ukotven i dlouhý ocas. Plachtivým letem dokážou urazit vzdálenost 130 m se ztrátou výšky pouhých 10 m.

Závěrem nelze nezmínit, že nakonec vlastně zvládl létat i člověk. Samozřejmě za pomoci strojů, které navrhuje a vyrábí. Co se týká rychlosti letu a absolutní hmotnosti všeho letecky přepravovaného nákladu, živočichy postupně daleko předčil. Bez inspirace získané studiem toho, jak to dávno před ním vymyslela příroda, čímž se zabývá obor bioniky, by něco takového však dokázal jen stěží.