

Život ve dvou extrémech – fyziologie netopýrů

Létají, visí hlavou dolů, hibernují. Jako děti jsme lezli na skříně a „létali“ na postel, věšeli se na hrazdy na hřištích i na větve stromů, později jsme toužili, abychom mohli přespát zimu a nevstávat do školy. Nic z toho jsme ale nevydrželi dělat dlouho (i když rodiče si to pamatují jinak). Netopýři dokážou věci, které by nás mohly i zabít, kdybychom se o ně pokusili. Z repertoáru netopýřího dne bychom zvládli asi jenom jíst hmyz. Netopýři – zástupci řádu letouni (Chiroptera) – jsou savci, kteří obývají prakticky celou zeměkouli a díky tomu představují velmi diverzifikovanou skupinu s mnoha morfologickými, behaviorálními i fyziologickými adaptacemi. Ty jim dovolují vést život za podmínek z našeho pohledu extrémních. Navíc se netopýři extrémně během roku výrazně liší. Na jaře např. u nás opouštějí zimoviště a stěhují se na místa letních kolonií (viz obr. na 3. straně obálky).

Aktivní let

Zimoviště a letní kolonie mohou být od sebe velmi vzdálené a netopýři snadno přeletí i desítky kilometrů. První adaptací na jejich způsob života je přeměna předních končetin na křídla. Tenká kožovitá létací blána, natažená mezi kostmi přední a zadní končetiny, tělem a ocasem, jim umožňuje, jako jediné skupině savců, aktivní let. Díky tomu netopýři ovládli volnou niku nočních predátorů hmyzu. Dovedou obratně kličkovat a hmyz buď loví ve vzduchu, nebo sbírají z povrchu rostlin. U některých tropických nebo subtropických zástupců vznikly i další potravní specializace – od sbírání květního nektaru přes konzumaci ovoce až po lov ryb, hlodavců nebo olizování krve; vždy ale rovněž v noci.

Aktivní let je fyzicky náročná činnost a netopýřům při letu stoupá teplota těla. Svaly při práci nejen hýbou tělem, ale generují i velké množství tepla. Člověk při běhu zrudne, prudce dýchá a potí se, jak se tělo zbavuje přebytečného tepla. Netopýr to má trochu složitější. Podobně jako psi ztrácí teplo dýcháním, ale není to dost, aby se během letu doslova neuvařil. Výraznější ochlazování netopýřům umožňuje ztráta tepla přes kůži. Naštěstí plocha křídel je dostatečně velká, proudící vzduch z ní přebytečné teplo odvádí. Ochlazování přes křídla funguje dobře i za soumraku, kdy kůži nevyhřívá slunce. Noční život je tak pro netopýry důležitou adaptací nejen proto, že využili volnou ekologickou niku (ptáci s výjimkou lelků a nemnoha malých sov noční hmyz prak-

ticky neloví), ale také proto, že noční chlad zamezuje přehřívání během letu.

V noci se letící netopýr nepřehřeje, jenže neuvidí ani kořist. Savci využívají za tmy čich a hmat, pro netopýry je kriticky důležitý hlavně sluch. I v absolutní temnotě v podzemí se dobře orientují pomocí zvukových vln odražených od povrchů kolem nich. Netopýří hlas, který využívají pro pohyb v prostoru a lov, tedy pro navigaci pomocí echolokace, zní jako velice rychlé klepání nebo pískání. Pro lidské ucho je echolokační volání neslyšitelné, má příliš vysokou frekvenci v ultrazvukových pásmech. Krátké vlnové délky echolokačních signálů umožňují netopýřům rozlišovat i velmi malé předměty, např. letícího komára. Bohužel ale schopnost „vidět“ ušima skýtá ve světě lidí rizika. Echolokační signál se odrazí od hladkých ploch okenních výplní bez dostatečné změny, která by netopýřovi napověděla, že má před sebou překážku. Pokud je hladká plocha umístěna vodorovně, netopýři si takovou strukturu mohou splést s vodní hladinou a pokoušet se napít třeba z mramorového schodiště. Jelikož mramor ani sklo neustoupí a netopýr pije v letu, srážky s moderní architekturou vedou k drastickým zraněním. Echolokace tedy dává možnost orientovat se ve tmě, ale má své limity v málo rozmanitém prostředí.

Vraťme se ale k letu. Aktivní let je energeticky velmi náročný, a to zejména pro malé druhy. Spotřeba kyslíku nutného na pokrytí energetických nákladů letu klesá s rostoucí velikostí těla. I tak je u netopýřů významně vyšší než u stejně velkých nelétavých savců a podobá se spotřebě u ptáků. Když netopýři vzletají, zvyšuje se u nich čtyřikrát až šestkrát rychlost dýchání. Cyklus nádechů a výdechů je synchronizován s máváním křídel. Výdech začíná v okamžiku, kdy mají křídla zvednutá nad tělem. Pak musejí vydávat největší

1 Vrápenec malý (*Rhinolophus hipposideros*), který během zimování neskládá křídla podél těla, ale omotává se křídelní blánou. Vždy zimuje samostatně, bez dotyku s jinými jedinci.



sílu k pohybu křídel směrem dolů a silné prsní (pektorální) svaly zajišťují pohyb křídel a stlačují hrudník. Pohyb hrudníku se přitom podílí na ventilaci plic, čímž se snižují energetické náklady dýchání, podobně jako u některých drobných zemních savců. Není proto překvapivé, že netopýři ve chvíli, kdy mají křídla v horní poloze, také vysílají echolokační signály.

Svaly při letu musejí pracovat aerobně, a proto jsou protkány hustou sítí kapilár přivádějících okysličenou krev. Jak dostane krevní oběh potřebné množství kyslíku dostatečně rychle ke všem buňkám? Svalová vlákna jsou bohatá na myoglobin – protein, který reverzibilně váže a přenáší kyslík ve svalových buňkách, a obsahují vysoký počet mitochondrií syntetizujících adenosintrifosfát (ATP). Buňky svalů netopýřů mají tedy samy o sobě velkou schopnost hromadit kyslík, podobně jako buňky kytovců. U netopýřů ale navíc srdce doveďe pracovat v rozsahu tepové frekvence, jakou u jiných savců nenajdeme. Klidový srdeční tep netopýřů je srovnatelný s tepem stejně velkých savců, ale netopýři ho dovedou výrazně snížit během torporu (strnulosti těla) i výrazně zvýšit při letu. Během aktivního letu může jejich tep přesáhnout až 1 000 tepů za minutu. Takových extrémů dosahují už jenom krmící se kolibříci a ze savců bělozubky nejmenší (*Suncus etruscus*) probouzející se ze strnulosti. Kromě vysoké tepové frekvence mají netopýři také větší objem srdce než stejně velcí savci jiných skupin, a dokonce vyšší počet červených krvinek než ptáci. To jim umožňuje dodávat svalům mnohem více kyslíku po delší dobu než u kteréhokoli jiného obratlovce. Kromě výkonu udržuje oběhový systém netopýřů i stabilitu zásobování orgánů v různých polohách těla. Netopýři mají na rozdíl od jiných savců chlopně nejen v žilách, srdci a lymfatických cévách, ale i v tepnách. Chlopně zabraňují krvi, aby tekla směrem, kterým na ni působí gravitace. Díky modifikovanému oběhovému systému mohou tedy netopýři létat i odpočívat zavěšení hlavou dolů.

Rozmnožování

Krátce po vylétnutí za prvním jarním hmyzem netopýři samice zabřeznou a počátkem léta rodí mláďata. Nestihly by to, kdyby se na jaře měly věnovat nejen doplnění energetických zásob spotřebovaných za zimu, ale i hledání partnera a páření. Aby netopýři žijící v mírném pásu stihli gestaci, péči o mláďata, jejich vyvedení a pak ještě matky i mláďata nabraly tukové zásoby před zimou, musejí co nejefektivněji využít teplé roční období. Páří se proto už na podzim. Někdy samci oplodňují i samice v torporu během hibernace. Některé druhy si do jara uchovávají sperma (zástupci rodu *Myotis*), jiné zastaví vývoj oplozeného vajíčka (např. létavec stěhovavý – *Miniopterus schreibersii*). Obě možnosti zabezpečí, že embryo se začne vyvíjet brzy na jaře, kdy už má matka možnost nalovít dostatek potravy a zajistit tak zdravý vývoj mláďete.

Mláďata netopýřů jsou nesamostatná a ze začátku života je nejvíc ohrožuje podchlazení (obr. 4). Jiní savci, kteří rodí nesamostatná mláďata, je chrání v úkrytech vystlaných izolačním materiálem, suchou



vegetací, srstí nebo i odpadky z okolí lidských sídel, např. papírem. Netopýři tuto možnost nemají. Po porodu samice krátký čas létá s mláďetem a později jej nechává ve společných skupinách v mateřských koloniích. Mláďata se tak zahřívají vzájemně. Jak ale matka po návratu pozná své mládě, které by měla nakojit? Doveďe jej nalézt i mezi tisíci cizích podle izolačních hlasů mláďete a pomocí čichu. Netopýři matky jsou velmi spolehlivé a poznají, který potomek je skutečně jejich.

Imunitní systém a patogeny netopýřů

Během aktivního letu, ale i zimní strnulosti jsou pro netopýry důležité adaptace imunitního systému. V souvislosti s pandemií koronaviru SARS-CoV-2 jsou netopýři často skloňováni jako přenašeči nejruznějších druhů zoonotických patogenů nebezpečných pro člověka. Poslední studie ukazují, že se však v diverzitě patogenů neliší od jiných skupin savců nebo ptáků. Existuje mnoho druhů netopýřů, a proto existuje i mnoho druhů netopýřích patogenů. V čem se netopýři liší od většiny jiných zvířat, je jejich schopnost poradit si úspěšně s infekcemi a neonemocnět. V tom jim pomáhá řada evolučních adaptací.

Jak jsme již uvedli, netopýři, ale vlastně i ptáci se při letu silně zahřívají. Viry, které se vyvinuly v netopýřech nebo ptácích,



2 Vrápenec malý – skvělý letec, schopný lovit i uvnitř větvičkových stromů, kde sbírá potravu z povrchu listů. Foto V. Káňa

3 Zimující netopýř velký (*Myotis myotis*) pokrytý na uších, křídlech i zadních končetinách bílým nárůstem houby *Pseudogymnoascus destructans*.

Ta způsobuje onemocnění nazvané syndrom bílého nosu, na které umírají miliony severoamerických netopýřů.

4 Mláďata netopýra rezavého (*Nyctalus noctula*). Mláďata netopýřů se rodí slepá, hluchá, holá a neschopná samostatné termoregulace. Do velikosti dospělého jedince však dorostou během pouhých pěti týdnů.

5 Netopýř velký je modelovým druhem řady fyziologických, ekologických, behaviorálních i veterinárních výzkumů. Během zimy patří mezi typické obyvatele našich jeskyní a štol, v létě ho najdeme i na kostelních, hradních nebo zámeckých půdách. Foto M. Dolinay

6 Asijský druh *Murina hilgendorfi* zimuje v jeskyních, ale dokáže přežít i ve sněhu, kde si vytváří úkryt podobný iglú.

jsou proto schopny přežít teploty až přes 40 °C. Pokud virus z netopýra nebo ptáka nakazí člověka, problém může být umocněn tím, jak se patogen přizpůsobil původnímu hostiteli. Lidské tělo se brání horečkou, kterou však díky adaptaci z dlouhé koevoluce s létajícími obratlovci virus toleruje jako celkem běžnou životní teplotu. Virus „neuvažíme“ a naše tělo trpí příliš vysokými horečkami. Koevoluce s netopýry tedy dělá z virů kvůli schopnosti přežít vysoké teploty pro člověka velmi nebezpečné patogeny.

Netopýři mají při infekci také velice rychlý nástup imunitní reakce – expresi proteinu interferonu. Savčí buňky se brání virové infekci tvorbou interferonu α , který spouští protivirovou odpověď. Všichni ostatní savci ale musejí interferon α nejprve aktivovat. Netopýři ho však mají stále přítomen v buňkách v aktivní formě, což zkracuje čas reakce imunitního systému. Mají tak možnost okamžitě indukovat antivirový stav, kdy se exprimují geny stimulované interferonem a zajišťují nespecifickou i specifickou antivirovou odpověď. Mezi nespecifické mechanismy patří např. enzym ribonukleáza L, která v aktivované formě štěpí RNA virů a zabraňuje



tak jejich replikaci – množení v buňce. Krátké úseky RNA pak spouštějí kaskádovou reakci imunitního systému. Naštěpená virová RNA stimuluje receptor MDA-5, jenž patří mezi receptory rozpoznávající molekulární vzory (pattern recognition receptors, PRR) a navozuje produkci dalších interferonů typu I. Interferony typu I (α , β) spouštějí protivirovou odpověď a reakce na nákazu je tak intenzivní a účinná.

Aktivní let, a s ním související zvýšená teplota, mají ale i pro netopýří imunitní systém stinné stránky. Extrémní spotřeba energie a horko během letu vedou k poškození buněk. Poslední výzkumy potvrdily genetické mutace zrychlující schopnost netopýřů detekovat a opravit poškozené buňky. Funkci imunitního systému, který odstraňuje poškozené buňky, podporuje i aktivita chaperonů – proteinů opravujících v buňce přímo poškozené proteiny. Adaptace u netopýřů můžeme najít např. u rodiny chaperonů HSP (heat-shock proteins), které byly poprvé popsány ve vztahu ke zvýšené teplotě tkání. Netopýří adaptace HSP tak nejspíš souvisí právě s vysokou teplotou během letu a jejím snížením v hibernaci. Vysoké teploty způsobují u savců významný nárůst reaktivních forem kyslíku (reactive oxygen species, ROS). Ty jsou přirozeným produktem metabolismu mitochondrií, ale v nadměrné míře poškozuji proteiny a DNA. Netopýří, kteří jsou během aktivního letu prakticky neustále v oxidačním stresu, si museli vytvořit proti

ROS úspěšné ochranné mechanismy, kdy kontinuálně produkují antioxidační enzymy neutralizující ROS. Produkce ROS je pro organismus také signálem o možném nebezpečí a spouští imunitní reakci. Aby u netopýřů nedocházelo k trvalé přítomnosti zánětu a autoimunitnímu poškození organismu, museli si vyvinout mechanismy regulace spuštění nebo omezení imunitního systému.

Během hibernace jsou funkce imunitního systému, stejně jako mnohé další, potlačeny. Regulace imunitní odpovědi je však kriticky důležitá v době, kdy se netopýří probouzejí. Při reaktivaci v případě přítomnosti patogenů může dojít k přehnané reakci – k cytokinové bouři. Bílé krvinky se shromáždí v místě infekce, vylučují prozánětlivé cytokiny, které informují další bílé krvinky o místě infekce. Ty na ně zareagují, shromáždí se a vylučují zase víc cytokinů, až dojde k nadměrné odpovědi, provázené systémovým zánětem a vedoucí někdy k multiorgánovému selhání až smrti. Aktivita imunitního systému netopýřů tedy musí být silně regulována, aby nedocházelo k poškození organismu. Kromě PRR a genů stimulovaných interferonem jim také např. chybí gen pro PYHIN protein, další z aktivátorů zánětu. Synergie regulačních mechanismů imunity bývá narušena např. u populací naivních (které se s patogenem dosud nesetkaly) na infekci mikroskopickou houbou *Pseudogymnoascus destructans*, způsobující

onemocnění hibernujících netopýřů – syndrom bílého nosu (white-nose syndrome). Netopýří nakažení tímto patogenem v oblastech Severní Ameriky, kam byla plíseň nově zavlečena, mohou umírat na příliš silnou imunitní reakci, na imuno-restituční zánětlivý syndrom. Naopak palearktičtí netopýří si během dlouhé ko-evoluce s plísní vytvořili adaptace, které jim pomáhají patogen tolerovat a přežívat jeho přítomnost bez výrazné újmy na zdraví (obr. 3). Omezení silné reakce imunitního systému je společně s molekulárními mechanismy zlepšujícími integritu a hojení pokožky významným způsobem obrany proti plísněové infekci.

Hibernace

Dalším extrémem, zejména v životě netopýřů mírného pásu, je zimní období, kdy nemají přístup k žádnému zdroji potravy. Pokud dojde k poklesu okolní teploty, je energeticky náročné udržet vysokou tělesnou teplotu. Netopýří se nedostatku potravy mohou vyhnout podobně jako některé druhy ptáků tím, že migrují do teplejších oblastí. Většina druhů mírného pásu se ale ukládá k zimnímu spánku. Hibernující zvířata, včetně netopýřů, snižují tělesnou teplotu v závislosti na okolní teplotě právě proto, aby předešla vysokým ztrátám zásob energie. Tělesná teplota bývá u netopýřů během hibernace snížena téměř na teplotu okolí a řada druhů netopýřů může snižovat teplotu těla na 0,2 až 1 °C. Druh *Murina hilgendorfi* (na obr. 6) zimuje v Japonsku dokonce přímo v hromadách sněhu. S hibernací, případně schopností využívat denní strnulost, jsou spojeny významné fyziologické změny, které se navzájem ovlivňují a jejich funkce se překrývají. Příkladem provázání takových změn je právě snížení tělesné teploty, kdy zároveň dochází ke zpomalení celkového metabolismu, snížení srdeční činnosti, regulaci krevního tlaku a zpomalení dýchání.

Před upadnutím do hibernace nastávají u netopýřů značné fyziologické změny v závislosti na změně okolní teploty a fotoperiody. Se snižující se teplotou a zkracujícím se dnem netopýří začínají ukládat zásobní látky do bílé tukové tkáně. Před hibernací zvětší tělesnou hmotnost až dvakrát. Současně jsou lipidy zabudovávány do buněčných membrán. Přítomnost různých lipidů v membráně je důležitá, protože fluidita buněčných membrán (propustnost pro molekuly lipidů) je ovlivněna



teplotou těla. Před hibernací se mění složení buněčných membrán tak, že jejich fluidita se zvyšuje, naopak bod tání se snižuje, a tak je zajištěna správná funkce membrán i při nízkých teplotách.

Během aktivního období je mozek netopýra zásobován výhradně glukózou z krve. Ale při hibernaci není dostupnost sacharidů dostatečná a netopýr přejde na zásobování i jinými látkami, zejména ketolátkami uloženými v tukové tkáni. Hlavním zdrojem energie během zimního spánku jsou tedy tukové zásoby – především bílá tuková tkáň. Tuková tkáň obsahuje i esenciální mastné kyseliny, jako je kyselina linolová a linolenová, které jsou velmi důležité pro hibernaci. Prodlužují její délku a dovolují snižovat tělesnou teplotu i metabolismus. Ovlivňují také frekvenci probouzení, přičemž dostatek esenciálních mastných kyselin frekvenci probouzení při hibernaci snižuje.

Během hibernace dochází ke snížení spotřeby kyslíku, což je způsobeno snížením metabolické aktivity a podpořeno nepravidelným dýcháním. U hibernujících živočichů se střídají periody polyponoe a apnoe, která může trvat více než hodinu. Snížení spotřeby kyslíku souvisí i se zpomalením srdeční činnosti a snížením tlaku. Plíce nejsou zásobovány takovým množstvím krve jako při normální aktivitě zvířete, a je možné také omezit počet obíhajících červených krvinek. Přebytké erytrocyty netopýr skladuje ve slezině. Větším množstvím kyslíku jsou zásobovány pouze životně důležité orgány jako mozek a srdce. Ostatní orgány jsou prokrvovány méně. Děje se tak díky zúžení cév (vazokonstrikci) v periferních částech krevního řečiště a snížení průtoku krve souvisejícím s nižší tepovou frekvencí. U nehibernujících živočichů by nedokrývání orgánů vedlo k fatálním následkům během několika minut.

Kromě bílé tukové tkáně a lipidů uložených v buněčných membránách hraje důležitou roli v hibernaci také hnědá tuková tkáň, nacházející se ve velkém množství hlavně mezi lopatkami, v okolí ledvin, aorty a srdce (u savců se vyskytuje u novorozenců, v dospělosti pak pouze u druhů schopných hibernace). Svými mechanismy metabolické termogeneze zajišťuje, aby hibernující organismus za velmi nízkých teplot nezmrzl. Buňky hnědé tukové tkáně obsahují velké množství mitochondrií zajišťujících přeměnu uloženého tuku na energii. Je rovněž zodpovědná za rychlou produkci tepla, a proto velmi důležitá v průběhu probouzení.

Probouzení z hibernace představuje energeticky velmi náročný proces. Netopýři na něj spotřebují až 90 % energie, kterou organismus využije během hibernace. Příliš časté probouzení tak může způsobit úmrtí zvířete z důvodu vyčerpání. Jde o samovolný děj, který probíhá pomocí metabolické termogeneze, kdy je energie získávána právě z hnědé tukové tkáně. Metabolická termogeneze dokáže ohřát tělo hibernujícího živočicha ze snížené tělesné teploty 5 °C na 37 °C během asi 30 minut. Probouzení začíná zvýšením srdeční a dechové činnosti. Krev proudí v těle rychleji, prochází přes oblast hnědé tukové tkáně, kde se ohřívá, a poté je rozvádě-



na dále po těle. Následně živočich začne využívat i aktivní termogenezi, svalový třes, jenž proces zahřívání urychlí.

Probouzení z hibernace ale není proces, který by netopýři absolvovali pouze jednou ročně – na jaře při vylétávání ze zimoviště. Zcela přirozeně se periodicky probouzejí a existuje k tomu řada důvodů, jak vnitřních, vycházejících z potřeb organismu, tak vnějších, kdy na netopýry působí prostředí a jiní tvorové. I pomalý metabolismus produkuje zplodiny a potřebuje obnovu a očistu několikrát za zimu. V první řadě se netopýři potřebují zbavit metabolických odpadů včetně postupně nahromaděné moči. Při takovém probouzení pak doplní i tekutiny, aby zabránili dehydrataci a obnovili rovnováhu elektrolytů. Někdy jim stačí slízat kapky vzdušné vlhkosti, vysrážené na srsti. Jindy spotřebují ještě víc energie a musejí odletět hledat zdroj vody uvnitř zimoviště. I když je aktivita v dlouhém období bez jídla riziková kvůli možnému vyčerpání zásob energie, je prospěšná jako prevence svalové atrofie a pro regeneraci gonád, nebo také pro restart a stimulaci imunitního systému. Při probouzení mohou netopýři kontrolovat i podmínky vně zimoviště. Na jaře se přesouvají do vhodových částí jeskyní, kde se významně mění směr proudění vzduchu. Jakmile totiž teplota venkovní atmosféry převyší teplotu v jeskyni, studený jeskynní vzduch vytéká východem, a netopýři tak mohou vnímat změny teploty mimo zimoviště.

Probouzení mohou způsobit také vnější faktory. Nejčastěji netopýry budí přímé vyrušení člověkem nebo potenciálním predátorem, případně změna teploty v místě hibernace. Zatímco na změnu teploty zareaguje netopýr jednoduše změnou místa uvnitř zimoviště, opakované vyrušování může vést k zásadnímu zvýšení výdajů energie během zimování. Vyčerpáný netopýr umírá, nebo úplně opouští úkryt.

Období strnulosti přerušovaná krátkým probouzením se však liší jak u jednotlivých druhů, tak dokonce mezi jedinci. Někteří se probouzejí víceméně pravidelně po dvou až třech týdnech, jiní mohou zůstat v torporu až polovinu zimy. Nicméně

7 Netopýr velký často během hibernace vytváří početné shluky. Díky sociální termoregulaci může uspořít významné množství energetických zásob. Snímky: J. Pikula, pokud není uvedeno jinak

i v podzemí bývají probouzení z hibernace synchronizována s přirozeným začátkem jejich aktivity, tedy se západem slunce.

Bohužel člověk svou činností nepřirozeně zvyšuje tlak na netopýry poměrně často. Vědomě či nevědomě ničíme jejich úkryty, zimoviště nebo mateřské kolonie, zejména pokud jsou v lidských stavbách. V poslední době je ovlivňujeme také změnami struktury krajiny. Fragmentace přirozených biotopů, ztráta propojení mozaikovitých prvků krajiny a homogenita zemědělských a lesních ploch snižuje diverzitu i dostupnost potravních zdrojů. Rozvoj urbanizace a přidružené infrastruktury mají přímý dopad na biologickou rozmanitost netopýrů, a to nejen zástavbou půdy, ale i méně zřejmými účinky, jako je znečištění světlem a hlukem, nebo změnou místního klimatu.

I bez přispění lidí představují extrémní v životě netopýrů silný selekční tlak. Tak jako by byla hibernace nebezpečná pro člověka, i netopýři se vyrovnávají s nástrahami půlročního hladovění. Část z nich nepřežije zimu. Podlehnu vyčerpání zásob energie, promrznutí, někteří i syndromu bílého nosu. Těm, kteří se dožijí jara, hrozí metabolické problémy při obnovení všech fyziologických funkcí a probouzení je ještě víc vyčerpá. Část netopýrů potom není schopna přežít letní období a úspěšně se rozmnožit. Vysoce specifické adaptace těchto letounů se vyvinuly právě na základě silných selekčních tlaků vlivem extrémních životních podmínek. A proto dnes na rozdíl od nás dovedou létat, viset hlavou dolů a prospat zimu. Evoluce ale potřebuje čas. Lidé přírodě čas nedávají. Pro netopýry naše rychlé zvyšování nároků může znamenat, že se těmto tlakům již nepřizpůsobí, a hrozí, že o tuto nenahraditelnou složku ekosystémů přijdeme.

Seznam použité literatury najdete na webové stránce Živa.