

Forenzní entomologie – když smrt je začátek

Forenzní entomologie využívá znalostí o hmyzu a ostatních bezobratlých při vyšetřování skutečností a ověřování důkazů v rámci občanského a trestního práva. V praxi lze tento obor rozdělit do tří základních kategorií: problematika potravinářských škůdců, oblast parazitů lidí a zvířat a stanovení doby smrti u nalezených lidských těl. Patrně nejčastěji se využívá pro určení délky intervalu mezi úmrtím člověka a nalezením jeho mrtvolky. Rozklad podléhá přirozeným procesům degradace velkých obratlovců v přírodě, proto i mrtvé lidské tělo se stává součástí daného biotopu a v procesu sukcese je postupně kolonizováno jednotlivými skupinami bezobratlých. Pochopení a zhodnocení všech zákonitostí degradačního procesu dává možnost zpětně reprodukovat časovou osu, a tím odpovědět na otázky důležité pro kriminalistické vyšetřování.

Forenzní entomologie se zřejmě nejvíce využívá v kriminalistické praxi, proto se v češtině občas setkáváme s označením kriminalistická entomologie. Jde však o méně přesný termín, protože kriminalistika se zabývá pouze otázkami trestního práva a nezahrnuje tak všechny oblasti uvedené -ho oboru. Zkoumání potravinářských (též domácích a skladištních) škůdců z právního hlediska často spadá do oblasti občanskoprávních sporů a základem je zanedbání technologických postupů a hygieny při balení, skladování a přepravě zemědělských komodit a potravin. Patří sem i případy, kdy po nákupu masa až doma zjistíte, že obsahuje plno larev (nebo jak se často neoborně říká „červů“). Následuje kolečko dokazování, kde – jestli u výrobce, v prodejní síti, nebo až po nákupu – došlo ke kontaminaci potraviny hmyzem. Zkoumání parazitů lidí a zvířat představuje především problematiku myiázy. Myiáza je onemocnění, při kterém v těle živého obratlovce, včetně člověka, parazitují larvy zástupců řádu dvoukřídlí (podrobněji viz Živa 2014, 1: 29–32). Tato oblast opět souvisí s hygienou a v praxi zahrnuje případy zanedbání péče o nemohoucí nebo svěřenou osobu, týrání svě-

řené osoby, nebo týrání zvířat. Poslední kategorie, někdy též nazývaná soudně lékařská, zpravidla souvisí se závažnou trestnou činností. Využívá znalostí entomologie při stanovení doby smrti, prokázání manipulace s tělem po smrti a může přinést i další informace důležité pro vyšetřování. Metody forenzní entomologie se v tomto případě aplikují jak na oběti vražd, tak při šetření sebevražd, různých nehod v přírodě anebo nevysvětlených úmrtí, tedy pokaždé, kdy je nezbytné zpřesnit dobu úmrtí.

Za všech okolností představuje forenzní entomologie oblast aplikované biologie založené na znalostech degradačního procesu, který je v přírodě přirozenou součástí koloběhu života a smrti.

Post mortem interval versus doba kolonizace

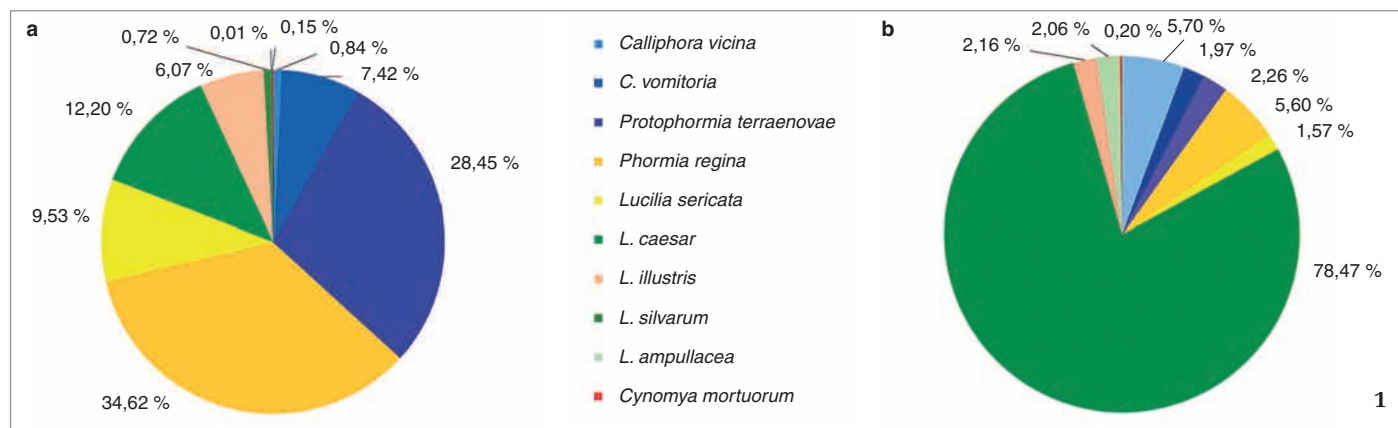
Určením doby smrti člověka je myšlen post mortem interval (PMI), tedy doba mezi úmrtím jedince a nálezem jeho těla. U mrtvých více než 72 hodin jsou entomologické metody jedny z nejpřesnějších při stanovení doby smrti, protože stále pracují s hodinami a dny. Přesto i zde narážíme na jistou nepřesnost, již musí mít na paměti ten, kdo uvedené zkoumání provádí, i ten,

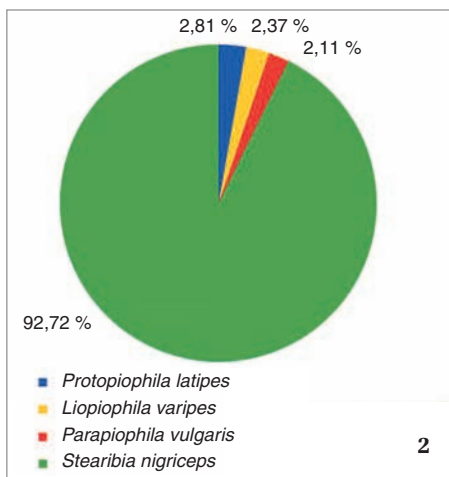
který očekává jeho výsledky. Ve skutečnosti forenzní entomolog v žádném případě neurčuje, kdy dotyčný člověk zemřel, nezkoumá samotné tělo mrtvého, pouze analyzuje z něj odebraný hmyz. Proto za všech okolností může stanovit jen dobu, po kterou bezobratlí kolonizovali mrtvého. A v tom spočívá problém, jelikož úmrtí a začátek kolonizace (v zahraničí se také používá termín první kladení) se mohou, ale také vůbec nemusí shodovat. Za optimálních podmínek, kdy hmyzu nic nebrání v přístupu k tělu, mohou nastat tři základní situace. Při první jsou přítomna např. krvácivá traumata (poranění) v důsledku bodných, řezných a střelných zranění, pádu z výšky, po autonehodě apod., nebo sperma, exkrementy či zvratky. Do okolí se uvolňuje aroma krve nebo ostatních zmíněných látek, které lákají bezobratlé z blízkého i dalekého okolí. Na tyto silné podněty reaguje hmyz prakticky okamžitě. U těchto nálezů stanovená doba kolonizace řádově odpovídá době úmrtí, nebo je rozdíl minimální.

V druhé situaci hovoříme o tzv. intaktním těle. Tito lidé zemřeli z přirozené příčiny (např. na infarkt, mrtvicí, stářím), nebo byli uskraceni, udusili se nebo otrávil plynem. V těchto případech hmyz na počátku „neví“, že jde o potenciální zdroj potravy. Atraktantem jsou pro něho až uvolňované plyny bakteriálního rozkladu, který začíná v trávicí soustavě mrtvého. Jako mnoho dalších procesů i rozklad ovlivňuje teplota prostředí. Při vyšších teplotách probíhá rychleji a rozkladný plyn se uvolní dříve, při nízkých se naopak vše zpomalí. Rozdíl mezi úmrtím jedince a prvním kladením hmyzu na jeho tělo tak může v závislosti na teplotě činit několik hodin až dnů.

Posledním, méně častým případem je situace, kdy doba kolonizace hmyzu na těle trvá déle než samotný post mortem interval, a to až o několik dnů! K prvnímu kladení několik minut až hodin ještě před smrtí člověka dochází např. u zmíněných jedinců s krvácejícími ranami. Dotyčný

1 Druhovú skladbu bzučivek (*Calliphoridae*; k jednotlivým druhům blíže v textu) při počátku kolonizace volně přístupného mrtvého těla na jaře (obr. a) a v létě (b). O dominanci druhu rozhodují biotop, roční období, okamžité klimatické podmínky a mezidruhová kompetice (na jednom těle se obvykle vyvíjí 2–5 druhů). Upraveno podle: H. Šuláková a M. Barták (2013)





2 Druhová skladba sýrohlodek (*Piophilidae*) na lidských mrtvých tělech.

Typickým dominantním zástupcem je běžná *Stearibia nigriceps*. Ostatní druhy bývají jen doprovodné. Upraveno podle: M. Hrdinová a kol. (2013)

3 Posmrtná poškození kůže vzniklá činností plžů, většinou plžáků (*Arionidae*). Nejvíce zasažené jsou části přiléhající k zemi, ale vzhledem k noční aktivitě plžů se při hromadném výskytu mohou nalézat i na místech přes den osluněných.

4 Samičky bzučivky zlaté (*Lucilia caesar*) kladou na oděv v místě, kde kryje urogenitální trakt a konečník. K této strategii se uchylují, když jsou všechna přístupová místa do těla již zaplněna nakladenými vajíčky.

5 Larvy bzučivek nejsou schopné pronikat přes nepoškozenou kůži, proto samičky kladou i na místa poškozená plži.

6 Sýrohlodka *S. nigriceps* a brouk pestrokrovečník *Necrobia ruficollis* (*Cleridae*) na těle, a to již po prvním týdnu rozkladu. Samičky sýrohlodek tak kladou vajíčka na odhalené kloubní hlavice v době, kdy na zbytku těla stále aktivně působí tisíce larev bzučivek, také však první larvy mrchožroutů a zejména pod tělem larvy mouchovitých. V letních měsících může být sukcese natolik rychlá, že nastává téměř souběh generačních cyklů hmyzu z několika fází po sobě.



padně exkrementy, můžou je samičky bzučivek využít ke kladení. Vylíhlé larvy, a mohou jich být desítky, stovky, ale i tisíce, se vyvíjejí v tkáních žijícího člověka až několik dnů. Když takový člověk následně zemře – zpravidla na celkovou sepsi (infekci) organismu – jeho tělo kolonizují další, někdy však i stejné druhy. Analýza zajištěného hmyzu potom ukáže, že generační cyklus jednoho druhu, nebo části jeho populace začal o několik dnů dříve než u ostatních.

Pro doplnění kompletního přehledu je nezbytné zmínit ještě jednu situaci, a to případy, kdy počátek kolonizace inhibují různé fyzikální, chemické nebo biologické faktory. Mohou být přirozené, související s ročním obdobím, klimatickými podmínkami nebo charakteristikami biotopu, ale také umělého původu, např. použití různých chemikálií; k tomu přistupuje i případná manipulace s tělem (zakrytí, vložení do pytle apod.). Kolonizace mrtvol hmyzem má v těchto případech svá specifika, jde však o natolik různorodou oblast, že její popis by překročil možnosti tohoto i tak obsáhlého příspěvku.

Stůl je prostřen, rače si posloužit!

Forenzní entomologie vychází z několika principů, které umožňují její praktické využití. Nejzákladnějším jsou vazby mezi mrtvými a živými organismy, dané zákonitostmi potravních vztahů. Jak uvádí L. Daňěk (1990), „bílkoviny mrtvého těla představují nahromaděnou potravní zásobu snadno dostupnou, lehce stravitelnou, kde nadto nekrofág nemusí s mrtvým živočichem bojovat, aby tohoto potravního zdroje dosáhl.“ Z uvedeného je zřejmé, že hmyz a ostatní bezobratlí jsou k mrtvému tělu přitahováni a aktivně se podílejí na jeho rozkladu.

Nenalézáme zde však pouze nekrofágy. K. G. Smith (1986) rozděluje organismy na mrtvolách do čtyř ekologických skupin. První, hlavní kategorii tvoří již zmínění nekrofágové, kteří se živí přímo tkáněmi a představují nejdůležitější skupinu živočichů při stanovení doby kolonizace. Druhou skupinou jsou predátoři a paraziti (parazitoidi) nekrofágních druhů. Do třetí kategorie se řadí tzv. omnivorní druhy (v tomto kontextu nevyhranění), kteří se živí jak nekrofágně, tak kolonizátory (dravě), a náležejí do ní např. vosy, mravenci a někteří brouci. Poslední skupina zahrnuje druhy využívající mrtvé tělo náhodně nebo příležitostně, např. chvostokosci (*Collembolea*) a pavouci.

Rozdělení do uvedených kategorií není přesné, protože jak sám Smith uvádí, je celkem běžné, že některé druhy představují přechodový stupeň mezi skupinami. Příkladem může být bzučivka *Chrysomya albiceps*, nebo mouchy rodu *Hydrotaea* (*Muscidae*). Larvy této bzučivky a mouchovitých se v prvním instaru živí nekrofágně, případně saprofágně (vytékající rozkladnou tekutinou), avšak od druhého, nebo třetího instaru se stávají dravými a loví larvy ostatních zástupců much. Není výjimkou ani vzájemný kanibalismus. Na druhou stranu je nezbytné doplnit, že se larvy uvedených druhů mohou po celou dobu vývinu žít zcela nekrofágně, aniž by to významně ovlivnilo jejich mortalitu.

Také vlastní první kategorií nekrofágů, tedy mrchožroutů, je potřebné chápat volně, protože do ní řadíme nejen druhy, které se živí „tkáněmi“ mrtvého, ale také zástupce vyvíjející se v hnilobné tekutině a v pozdějších fázích v kašovitě hmotě vzniklé směsí biochemicky pozměněných tkání, obsahu trávicí soustavy, hlíny, shnilé vegetace a dešťové vody, tedy obecně saprofágy,

krvácí, je však v kómatu, nebo nepohyblivý. Samičky much, které reagují na aroma krve, tak kladou již během umírání jedince. Forezně významné druhy však mohou kolonizovat žijícího člověka mnohem dříve, a to až několik dnů před jeho smrtí. Tady opět narážíme na problematiku myiáz. Při fakultativní myiáze se na onemocnění podílejí druhy, které tkáň živého člověka využívají jen příležitostně, protože je běžně nalézáme až na zemřelých. V podmínkách České republiky jde např. o bzučivky (*Calliphoridae*) – b. zelenou (*Lucilia sericata*), b. obecnou (*Calliphora vicina*) a *Phormia regina*. S těmito případy se setkáváme u lidí žijících ve špatných hygienických podmínkách – bez domova, ale také u starších jedinců a malých dětí, kteří nejsou schopni se o sebe sami starat. Pokud navíc mají na těle neléčenou, nebo nekvalitně ošetřenou otevřenou ránu, bér-cový vřed, nekrotizující proleženinu, pří-

k nimž kromě nekrofágů řadíme i detritovory, koprofágy aj. Proto se pro první kategorii jeví jako vhodnější označení nekrosaprofágové, i když ani tento termín přesně nevystihuje celou skupinu.

Hnacím motorem je sukcese

Druhý princip forenzní entomologie vychází ze skutečnosti, že nekrosaprofágové a další organismy se nevyskytují současně, ale kolonizují tělo postupně v tzv. sukcesních vlnách. Sukcese, jak ji v r. 1916 definoval F. E. Clements, je nesezonní, směrovaný a kontinuální proces kolonizace a zániku populací jednotlivých druhů na určitém místě. Začíná tím, že se objeví prázdné místo, které lze obsadit. Mrtvý se stává součástí specifického biotopu a na něm se postupně objevují jednotlivé skupiny druhů. Jediněčným rysem je dočasné trvání celého společenstva a relativně rychlý přechod z jedné fáze do následující. Sukcese postupuje tak rychle, že některé její fáze, zejména ty počáteční, zahrnují pouze jednu generaci daného druhu nebo skupiny druhů. Nová imaga (dospělci), která se na určité mrtvole vyvinula, ji po vylihnutí nalézají v takovém stupni rozkladu, že již pro ně není vhodná k opětovnému kladení, a proto odlétají kolonizovat jiný objekt. V pozdějších fázích sukcese se sice rozklad zpomaluje, takže se může objevit i několik po sobě následujících generací, kdy nově vylihlá imaga kladou na stejné tělo, přesto je jejich počet stále relativně nízký a do jisté úrovně přesnosti definovatelný. Výjimku představují těla ve specifických podmínkách (např. pohřbená, mumifikovaná), kdy samotný proces dekompozice je natolik pomalý, že jeden konkrétní druh nebo skupina druhů setrvává až po několik desítek generací; zejména když specifické podmínky navíc blokují přístup jiným druhům, tedy konkurentům. Konečné stadium sukcese – klimax, potom představují kosterní zbytky, které nejsou pro nekrosaprofágy atraktivní.

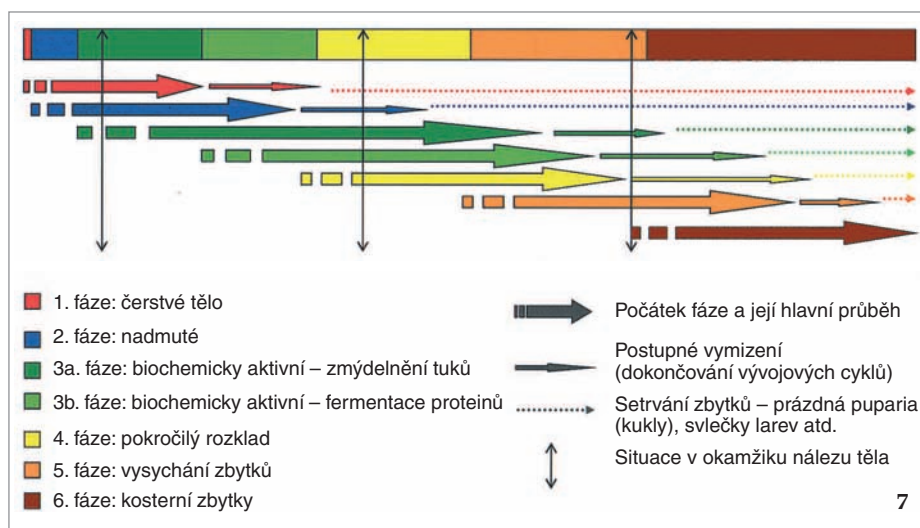
Odolný chitin

Poslední hledisko důležité pro kriminalistickou praxi je dlouhodobé zachování chitinu v přírodě. Chitin, který tvoří součást kutikuly hmyzu jak dospělců, tak larev, kukel a puparií, jí dodává značnou odolnost vůči klimatickým podmínkám. Prázdná puparia, ale také puparia s nedokončeným vývinem, exuvie (svlečky) larev nebo dokonce uhynulí dospělci mohou tedy na stanovišti setrvat několik měsíců až let. Proto při nálezů těla může forenzní entomolog získat informace jak o právě zastoupených druzích, tak o těch, jejichž fáze již skončila, a učinit si ucelený obraz o celkovém průběhu sukcese.

Rozklad při volné expozici

Tato situace představuje „učebnicovou“ ukázkou sukcese těla. Jsou nastoleny ideální podmínky: mrtvý leží ve volné přírodě, na zemském povrchu a bezobratlým nic nebrání v přístupu.

S podrobným popisem rozkladu lidských těl činností hmyzu přišel jako první v r. 1894 Jean-Pierre Mégnin ve svém díle *La faune des cadavres* (Fauna mrtvolná). Mégnin uvedl, že celý průběh sukcese trvá zpravidla tři roky a rozdělil ji do 8 fází:



čerstvé tělo, počátek rozkladu, zmydlení, sýrovatění, ztekucování zbytků, vysychání zbytků, vysušené zbytky a trouchnivění. V pozdějších letech byla Mégninova stupnice upravována a často redukována na nižší počet fází. Např. M. E. Fuller (1934) navrhl pouze tři: fáze čerstvého těla, hniloby a vysoušení zbytků. Z jednotlivých ekologických pozorování je však zřejmé, že rozhodujícím faktorem, jestli celý proces proběhne ve třech či v 5, 6 nebo až 8 vlnách, zůstává především oblast, v níž k rozkladu dochází (např. v jižní Evropě, kde obecně panují vyšší teploty, postupuje rychleji a sukcesních vln je méně). Kromě regionu mají vliv také roční období na počátku sukcese a biotop. Sukcese, resp. její fáze mohou však být popsány různými způsoby, nejen stupněm rozkladu, ale také podle společenstev, která se na mrtvém těle vyvíjejí. Např. G. F. Bornemissza (1957) rozdělil rozklad na období, kdy se postupně střídá společenstvo nekrofágní (čerstvé tělo), saprofágní (biochemicky aktivní), dermatofágní (vysychající zbytky) a keratofágní (dehydrované zbytky).

V oblastech mírného pásu, tedy i v ČR, zpravidla rozlišujeme 6 stadií, jejichž základem je stupnice, kterou navrhl J. A. Payne a D. A. Crossley v r. 1966. Jednotlivé fáze definuje stupeň rozkladu těla, na nějž reagují specifické druhy. Jejich stupnici, doplněnou o vlastní pozorování z České republiky, lze popsat následovně (obr. 7).

● 1. sukcesní vlna: čerstvé tělo

Představuje počátek sukcese bezprostředně po smrti člověka, ojediněle již během umírání. Pro toto období jsou typické dvě skupiny bezobratlých. Do první náležejí např. z blanokřídlých (*Hymenoptera*) vosy a mravenci, kteří se živí přímo tkáněmi. Na těle většinou setrvávají jen nezbytně nutnou dobu, kdy přijímají potravu, a následně ho opouštějí. I když se opakovaně vracejí, nelze zjistit, jak dlouho tělo využijí, proto z hlediska stanovení doby kolonizace těla nemají téměř žádný význam.

Rozhodující je však druhá skupina tvořená mouchami z čeledi bzučivkovití. Z 61 druhů čeledi, které známe z ČR, je kriminalisticky relevantních 13. Z nekrofágních druhů s typickým kovovým leskem těla mají v našich podmínkách nejčastější zastoupení zelené bzučivky rodu *Lucilia*, modré rodu *Calliphora* a dále *Protophormia terraenovae* a *Phormia regina*. Na jed-

7 Schematické znázornění průběhu sukcese při volné expozici mrtvého těla. Počátek každé fáze definuje přílet prvních jedinců, postupné zvyšování jejich počtu a kladení. Následuje dominantní postavení skupiny s maximem jedinců, ať již dospělci nebo larev, a následný útlum, při kterém se dokončují generační cykly a dospělci odlétají. Orig. H. Šuláková

8 a 9 Rychlost rozkladného procesu závisí na mnoha faktorech, rozhodující jsou roční období na počátku sukcese, mikroklima a zastoupené druhy. V okamžiku, kdy jsou podmínky optimální pro přítomnost bzučivek, dochází k velmi rychlému úbytku měkkých částí již během 1–2 týdnů. Obr. 8a až 8e zachycují sukcesí s počátkem na jaře (použito zvíře o hmotnosti 53 kg), obr. 9a až 9e vývoj s počátkem v létě (u zvířete o hmotnosti 65 kg). Srovnání vždy ve stejném časovém intervalu: 1. den (a), 7. den (b), 1. měsíc (c), 2. měsíc (d) a 5. měsíc (e) od počátku rozkladu

né mrtvole se zpravidla současně vyvíjejí dva až pět druhů, jeden až dva druhy v dominantním postavení, zatímco ostatní pouze v omezeném počtu jedinců (obr. 1).

Významné však je, že dospělci much se samotnou mrtvolou neživí, jsou pouze nekrofilní. Zdroj jejich potravy tvoří nektar květů, medovice mšic, šťávy z přezrálého ovoce atd. Na mrtvém těle sice mohou „lízat a sát“ krev a další tekutiny, jde však pouze o příležitostný zdroj potravy, jenž vyhledávají zejména samičky, aby získaly proteiny potřebné k dozrání vajíček v těle (Erzinçlioğlu 1996). Skutečně nekrofágní jsou jejich larvy. A zatímco dospělci mohou kdykoli přiletět, odletět a o jejich přítomnosti nemusíme nalézt žádný důkaz, jakmile dojde k nakladení vajíček, zůstává na místě stopa, kterou lze analyzovat a hodnotit. Vysoký kriminalistický význam bzučivek tedy vychází ze skutečnosti, že vyhledávají mrtvolu primárně z důvodu kladení a že časová prodleva mezi příletem prvních jedinců a nakladením prvních vajíček je minimální.

Jak jsme uvedli, atraktantem lákajícím první kolonizátory jsou krev a také různé výměšky, sperma nebo zápach z ran, které vznikly ještě za života. Vajíčka jsou kladena na přístupné sliznice očí, úst, nosu,



uší, urogenitálního traktu anebo konečnicku, ale i do ran a krví nasáklého oděvu.

● 2. sukcesní vlna: nadmuté tělo

Činností bakteriálního rozkladu v trávicím traktu vznikají plynné látky a za optimálních podmínek (při vysokých teplotách

v létě) tento stav může nastat do několika hodin. Jako atraktant lákající další skupinu kolonizátorů funguje právě rozkladný plyn uvolňovaný z těla. Reagují na něj opět bzučivky a nově mouchy čeledi masařkovití (*Sarcophagidae*) a mouchovití. Masař-

ky jsou v literatuře značně přeceňovanou skupinou. Přinejmenším v oblastech mírného pásu vůbec nepředstavují běžné zástupce na lidských mrtvolách. Nejen v České republice, také na Slovensku, v Polsku, Německu, severní Francii a Belgii se s jejich

larvami na tělech exponovaných ve volné přírodě setkáme zcela výjimečně. Zato jsou typické pro nálezy v bytech. Nejčastěji citovaný druh masařku obecnou (*Sarcophaga carnaria*) můžeme vysledovat až do Mégninovy práce, kde je řazen mezi forenzně významné. Nelze však opominout, že výzkum posledních let jmenovitě u této masařky značně zpochybňuje její přímou vazbu na mrtvolu, a kriminalistická praxe tyto výsledky potvrzuje. Za forenzně relevantní se považuje řádově 25 druhů masařek, přesto u nás i v okolních státech patří přes 95 % zajištěných larev z této čeledi pouze druhu *S. (Liopygia) argyrostoma*.

Z mouchovitých jde zejména o rod *Muscina*, jehož zástupci mohou v některých případech nahradit bzučivky v roli prvních kolonizátorů. V literatuře často uváděná moucha domácí (*Musca domestica*) se ve skutečnosti na mrtvolách vyskytuje vzácně. Její larvy se přirozeně vyvíjejí v chlévském hnoji, proto samičky, když mají možnost výběru, primárně kladou na tento substrát, i když je k dispozici lidské tělo. Ve volné přírodě se s ní za těchto okolností prakticky nesetkáme, ojedinělé nálezy pocházejí z blízkosti chlévů a stájí anebo domácností. Její citovanost lze opět vysledovat až do Mégninovy práce, kde je uvedena spolu s dalšími synantropními zástupci hmyzu mezi typickými nekrofágy. Druhy popsané Mégninem souvisejí především s mrtvolami, které měl k dispozici. Proto mnoho jím uváděných nekrofágů dnes řadíme mezi tzv. domácí a skladištní škůdce a nalézáme je pouze na tělech v bytech (a v jiných uzavřených prostorách), navíc zcela ojediněle. Je zřejmé, že s novodobou úrovní hygieny v domácnostech jejich četnost výrazně poklesla. Nelze současně opominout, že v současnosti přeceňovaný význam mnohých nekrofágů často souvisí až s nekritickým přepisováním údajů z jedné práce do druhé. V této souvislosti je nezbytné uvést i slepé přebírání neověřených dat ze zahraniční literatury. Tak se stane, že tzv. typický zástupce je v uvedené oblasti ve skutečnosti příliš vzácný na to, aby mohl být běžným druhem, nebo se zde vůbec nevyskytuje.

V druhé sukcesní vlně tělo osídlují i první druhy brouků. Z uvedeného je zřejmé, že pro stanovení počátku kolonizace znamenají brouci méně přesný indikátor, protože se objevují později než mouchy – vzniká u nich delší časový rozdíl mezi smrtí člověka a začátkem kolonizace. Jejich nižší vypovídací hodnota vychází také ze skutečnosti, že zatímco mouchy vyhledávají tělo s cílem naklásť vajíčka či larvy, dospělec brouka, který se živí tkáněmi, nebo na těle loví ostatní hmyz, může na mrtvole setrvat i několik dnů, než dojde ke kladení. Přítomnost nebo absence dospělce brouka indikuje sukcesní fázi, ale přesný výpočet doby kolonizace je možný pouze zhodnocením vývojových cyklů, tedy „kriminalistických stop“ jednoznačně spojených s přítomností mrtvolu.

Na uvolňovaný rozkladný plyn reagují mezi prvními mrchožroutovití (*Silphidae*). Pro forenzní praxi je nejvýznamnější mrchožrout pobřežní (*Necrodes littoralis*), jehož larvy se na mrtvolách vyskytují pravidelně a v hojném počtu, proto ho lze

zahrnout do kalkulace doby kolonizace. Obdobně se setkáme i s larvami rodu *Thanatophilus* (obr. 12). Často zmiňovaní hrobařiči rodu *Nicrophorus* (viz také článek na str. 239–241 této Živy) mají v praxi minimální využití, protože se na lidském těle zdržují pouze dospělci.

Poslední typickou skupinou druhé sukcesní vlny jsou parazitoidní druhy z řádu blanokřídlí, z nichž největší význam mají chalcidky (*Chalcidoidea*), případně lumci a lumčiči (*Ichneumonoidea*). Samičky kladou vajíčka do larev i kukel ostatního hmyzu a vylíhlé larvy cizopasí uvnitř hostitele, kterým se současně živí a následně se v něm i kuklí. Vzhledem k pevné vazbě vývojového cyklu na přítomnost mrtvého těla, resp. nekrosapofágy, na nichž parazitují, lze tyto blanokřídlé využít při výpočtu doby kolonizace.

● 3. sukcesní vlna: biochemicky aktivní rozklad

Tuto fázi charakterizuje ztekucování substrátu a zahrnuje dva procesy: zmydelnění tuků a fermentaci proteinů. Při procesu zmydelnění vznikají těkavé mastné kyseliny a atraktantem, který láká další skupinu hmyzu, se stává především zápachající kyselina máselná. Na její aroma reagují mouchy rodu *Hydrotaea*, v České republice je na lidských mrtvolách nejčastěji zastoupena moucha lesklá (*H. ignava*). První samičky mohou přiletět již v prvních dnech po smrti jedince, v době, kdy se na těle vyskytují tisíce larev bzučivek. Nenačkají proto přímo na tělo, ale pod něj do tzv. lože mrtvolu. Vylíhlé larvy prvního instaru se živí v podstatě saprofágně, rozkladnou tekutinou prosakující do půdy. Od druhého instaru jsou dravé a začínou kolonizovat vlastní mrtvolu. Přesto teprve až ji většina bzučivek opustí, aby se mohly zakuklit, mouchovití tělo obsadí a plně využijí.

Z řad brouků reagují na těkavé mastné kyseliny drabčkovití (*Staphylinidae*). Při výpočtu doby kolonizace hraje významnou úlohu drabčík páskovaný (*Creophilus maxillosus*), který se na mrtvolách pravidelně rozmnožuje. Z dalších jsou zastoupeny nejčastěji rody *Ontholestes*, *Philonthus* a výslunník (*Aleochara*). Objevují se i první mršníkovi (*Histeridae*), zejména *Margarinotus brunneus* a *Saprinus semistriatus*, a lesknáčkovití (*Nitidulidae*), především *Omosita discoidea* a *Glischrochilus quadrisignatus*.

Fermentace proteinů se označuje také termínem sýrová fermentace, protože se při ní vytvářejí kaseózní látky připomínající svým zápachem přežralý sýr. Aroma láká drobné mušky hlavně z čeledi sýrohlodkovití (*Piophilidae*), kmitalkovití (*Sepsidae*) a slunilkovití (*Fanniidae*). Larvy sýrohlodek jsou známy schopností skákat. Larva se stočí a ústními háčky cephalopharyngeálního skeletu se zachytí v zadečkové části těla. Náhlým uvolněním úchopu a prudkým narovnáním těla dojde k vymrštění do vzduchu. Taktó může larva překonat až několik desítek centimetrů do výšky i do dálky. V ČR je typickým zástupcem sýrohlodek *Stearibia nigriceps*, běžný druh přítomný v hojném počtu téměř na všech mrtvolách (obr. 2 a 6). Nyní se dostáváme k sýrohlodce drobné (*Piophilidae*), která bývá citována také v naší literatuře. Když



pomineme fakt, že je opět uvedena již v Mégninově práci, často ji najdeme i v zahraničních publikacích. Avšak na rozdíl od jižních evropských států, např. Portugalska, Španělska a Itálie, kde se opravdu řadí mezi typické zástupce nekrofauny, u nás ve volné přírodě prakticky nežije. Na našem území představuje skladištního škůdce s lokálním výskytem, který se vzácně objevuje na mrtvolách v domácnostech. Z ostatních dvoukřídlých se na tělech pravidelně rozmnožují kmitalka *Nemopoda nitidula* a slunilka pokojová (*Fannia canicularis*), dále slunilky *F. scalaris* a *F. manicata*, jimž vyhovuje polotekutý substrát biochemicky aktivního těla (obr. 13).

Z brouků nalézáme zástupce čeledi kožojedovití (*Dermestidae*) a pestrokrovecníkovi (*Cleridae*). Typickými zástupci kožojedů jsou u nás *Dermestes frischii*, *D. undulatus* a *D. murinus*. Opět v literatuře často citovaný kožojed obecný (*D. lardarius*) se objevuje pouze ojediněle na mrtvých v bytech, na půdách, případně ve sklepech. Z pestrokrovecníků to jsou všechny tři naše druhy rodu *Necrobia*, zejména však *N. violacea* a *N. rufipes* a zcela vzácně *N. ruficollis* (obr. 6). Kožojedi i pestrokrovecníci preferují sušší substrát, proto jejich kolonizace zpravidla začíná od okrajových, nebo již skeletovaných částí těla (s odkrytými kostmi).

Na aktivní biochemický rozklad lze však nahlížet jako na jednu komplexní sukcesní fázi, protože zmydelnění tuků a sýrová fermentace mohou na různých částech těla probíhat prakticky současně. Druhy jmenované v této sukcesní vlně mohou proto tělo kolonizovat v různém pořadí.

● 4. sukcesní vlna: pokročilý rozklad

Stadium se vyznačuje čpavkovou fermentací zbytků měkkých tkání. Atraktantem lákajícím další bezobratlé jsou uvolňované amoniakální páry a nakyslý zápach kaseózních látek, na které reagují drobné mušky z čeledi hrbilkovití (*Phoridae*). Nadále zůstávají na těle aktivní larvy sýrohlodek, kmitalek a slunilek, z brouků larvy kožojedů a pestrokrovecníků, z dospělců menší drabčiči, dále mršníci a lesknáčci, kteří se zde také příležitostně rozmnožují.

● 5. sukcesní vlna: vysychání zbytků měkkých tkání

Z měkkých tkání zůstávají pouhé zbytky, které postupně vysychají. Na rozkladu se nadále podílejí larvy sýrohlodek a hrbilek, kožojedi a pestrokrovecníci. Nově zbytky kolonizují brouci z čeledi hlodáčovití



10 Od 11. měsíce experimentu, jehož průběh ukazují obr. 9a až 9e, začalo místo uložení zvířete, které se dostalo již do 6. fáze sukcese, zarůstat vegetací, která nakonec stanoviště překryla. Oděv byl zcela rozložen a v původním místě hrudníku a břicha začaly růst náletové dřeviny.

11 Za optimálních podmínek se na mrtvém těle vyskytují tisíce larev bzučivky. V takových počtech jsou shloučené jedna vedle druhé, ústními háčky zachyceny v substrátu, kterým se živí, a pomocí stigmat na zadečku dýchají.

12 Larvy brouků mrchožroutů (*Silphidae*) – na snímku především mrchožrout pobřežní (*Necrodes littoralis*) a *Thanatophilus sinuatus* – ke konci larválního vývoje mohou tělo mrtvého zcela opanovat.

(*Trogidae*), z nich především *Trox scaber* a *T. sabulosus*. Poměrově se začíná zvyšovat zastoupení roztočů (*Acari*). Je však nutné poznamenat, že roztoče nalézáme již od počátku rozkladu těla, resp. od okamžiku, kdy se na mrtvém objeví první hmyz, protože mnoho roztočů ve sem dostává pomocí forézie – přichyceno na těle hmyzu. Roztoči po nějakou dobu setrvávají a rozmnožují se, a když se vylhnou noví jedinci much a brouků, přichytí se na ně a nechají se přenést na další mrtvolu.

● 6. sukcesní vlna: kosterní zbytky

Většina měkkých tkání byla již rozložena a na místě zůstávají pouze kosti a ojediněle vyschlé chrupavky a vazivo, vlasy a tělní ochlupení. Na rozkladu těchto zbytků se podílejí roztoči a zřídka kožojedi a hlodáči. Nově se objevují vrtavci (*Ptiniinae*) z čeledi červotočovití (*Anobiidae*), někdy uváděni jako čeleď *Ptinidae*. Na degradaci kostí ležících na povrchu mají vliv např. i řasy (*Algae*).

A mnoho dalších...

Druhy uvedené v jednotlivých sukcesních vlnách jsou zpravidla zastoupeny na všech volně exponovaných mrtvolách, pokud zůstanou v terénu dostatečně dlouhou dobu. Nepředstavují však výčet všech druhů jmenovaných čeledí ani všech skupin bezobratlých, s nimiž se můžeme v takových případech setkat. Kromě již zmíněných nalézáme z dvoukřídlych také zástupce čeledi lanýžkovití (*Heleomyzidae*), octomilkovití (*Drosophilidae*), scutulovití (*Psychodidae*), smutnicovití (*Sciaridae*), pestřenkovití (*Syrphidae*), stružilkovití

(*Anisopodidae*) a mrvnatkovití (*Sphaeroceridae*). Z brouků jde o čeleď chrobákovití (*Geotrupidae*), vrubounovití (*Scarabaeidae*) a lanýžovníkovití (*Leiodidae*). Z řádu motýli je možné nalézt housenky z čeledi zavíječovití (*Pyralidae*), molovití (*Tineidae*) a vzácně některých krásněnkovitých (*Oecophoridae*). U těl nalezených ve vodě lze očekávat vodní korýše (*Crustacea*) a měkkýše (*Mollusca*). A ve výčtu bychom mohli pokračovat. Podíl těchto organismů na dekompozici mrtvého těla se často váže na specifický biotop, roční období, mikroklimatické podmínky nebo další okolnosti, jako např. stav mrtvého, množství a typ oblečení či místo uložení – oproti výše popsané sukcesi mrtvol při volné expozici má rozklad v uzavřených prostorách, pohřbených a zahrabaných těl, ve vodě a jinde svá specifika.

Zapojení do biocenózy

O tom, jak se mrtvé lidské tělo stává dokonalou součástí daného biotopu, svědčí i bezobratlí, které K. G. Smith (1986) zařadil do čtvrté kategorie náhodných a příležitostných druhů. Na první pohled by se mohlo zdát, že jde o nedůležitý organismy, které se zde objevují vlastně omylem. Opak je však pravdou. Nelze je sice využít při stanovení doby kolonizace, mohou ale ovlivňovat proces sukcese, přinést zajímavé informace, nebo dokonce mít tzv. vy-povídací hodnotu, zejména když posmrtně ovlivní vzhled jedince, nebo pozmění situaci na místě nálezu.

Jako příklad lze uvést různá poškození na těle. V učebnici soudního lékařství se dočteme, že činnosti mravenců (působením kyseliny mravenčí) na kůži posmrtně vznikají malá okrouhlá nebo nepravidelná splývající zahnědlá místa, často připomínající oděrky, která mohou být zaměněna za poleptání vzniklá před smrtí (Tesař 1968). Podobná poškození, často většího rozsahu, však mívají na svědomí i plži z čeledi slimákovití (*Limacidae*) a plzákovití (*Arioidae*). Kromě hrozící chybné interpretace posmrtných změn (obr. 3) hrají tito plži při dekompozici ještě jednu zajímavou roli. Larvy bzučivky, prvních kolonizátorů, nejsou schopny pronikat přes nepoškozenou kůži člověka. Samičky proto kladou vajíčka do přirozených tělních otvorů nebo otevřených ran. Když jsou všechna přístupová místa obsazena (zakladena), samičky se uchylují ke kladení i na oděv, pod nímž vycítí přítomnost např. urogenitálního traktu nebo rány (obr. 4) v naději, že se některé

vylíhlé larvy dostanou přes látku do těla dříve, než vyschnou. Za těchto okolností bzučivky vyhledávají a využívají ke kladení i místa narušená právě plžáky (obr. 5), čímž se rozkladný proces urychluje. Neuvěřitelnou všežravost a přizpůsobivost plžů dokládá i skutečnost, že jsme je zaznamenali na těle uloženém čtyři roky v mělkém hrobě (hloubka ca 15 cm), kde v hojném počtu požírali tkáň přeměněnou na homogenní šedobílou hmotu (adipocire), která vzniká při vyšší vlhkosti a nedostatku kyslíku.

Obdobně žížaly (*Opisthopora*) patrně nikdo nepovažuje za nekrosaprofágní organismy sensu stricto. Avšak na přelomu druhé a třetí sukcesní fáze dochází k odbarvení vegetace pod tělem z důvodu ztráty chlorofylu a rostliny začínou i v okolí hnít. Současně do lože mrtvolky proniká množství tekutiny bohaté na organické látky. Na to reagují žížaly, které se sem slézají a rozmnožují se. V letních měsících rádo vě od třetího až čtvrtého týdne expozice těla je na něm možné zaznamenat spoustu dospělých i juvenilních žížal. Jejich přítomnost má však i další důsledek. Když je oděv mrtvého z přírodních materiálů, k tomu nasáklý hnilobnou tekutinou, žížaly jsou schopny ho zcela rozložit. Již po roce nemusíte na místě najít žádné oblečení.

V souvislosti s žížalami uvedeme ještě jednu zajímavost. Parazitoidy žížal jsou bzučivky rodu *Pollenia*. Proto není překvapením, že se v okolí těla záhy zvyšuje i jejich koncentrace (Šuláková a Barták 2013). Jenže mouchy nereagují na přítomnost žížal, to by na místo dorazily až po svém hostiteli, atraktantem je pro ně mrtvolný zápach, a to již od druhé fáze rozkladu. Jakoby učinily logický závěr, že když je cítit hniloba, bude tam i hostitel. Tuto tezi potvrzuje i skutečnost, že mouchy rodu *Pollenia* nalétávají do pastí, kde jsou návnadou játra, mrtvé ryby nebo exkrementy (např. Křištofík 1982, Řehůrková a Křištofík 1984).

O vosách a mravencích jsme se již zmínili, jejich zvýšenou aktivitu však můžeme pozorovat i v pozdějších fázích sukcese. Jak rozklad a kolonizace těla pokračují, požírají nakladená vajíčka much anebo uhynulé jedince (obr. 15). A po dočasném útlumu v aktivitě se objevují pokaždé, když dochází k líhnutí nových dospělců much, kteří jsou nějakou dobu velice křehcí a neschopní letu. Vzhledem k velikosti mrtvolky se na ní zpravidla vyvíjejí tisíce muších larev (obr. 11) a následně se líhnou stovky až tisíce dospělců, pro vosy představující snadný úlovek soustředěný na jednom místě. A tak v závislosti na tom, jak v postupných vlnách končí vývin bzučivky, mouchovitých, sýrohlodek, slunílek a dalších, vosy a mravenci se k tělu opakovaně vracejí.

Kontinuální proces a plastický model

Na první pohled se jeví, že se sukcese skládá z jasně definovaných úseků, které se jeden od druhého zřetelně liší. Ve skutečnosti celý proces probíhá plynule a relativně rychle. Protože vývin každého druhu trvá dny až týdny, na těle téměř vždy nalezneme zástupce několika sukcesních vln současně, a to v podobě prvních

dospělců, vajíček, larev různých instarů, puparií a kukel, případně nově vylíhlých jedinců.

Vlastní průběh sukcese však nelze v obecné rovině jednoznačně časově definovat. Na její celkovou délku, tedy od první až do poslední fáze, je nezbytné nahlížet jako na plastický model, který se dokáže prodlužovat i zkracovat. Faktorem rozhodujícím o rychlosti průběhu rozkladu, resp. o délce jednotlivých fází je roční období a s ním spojené klimatické podmínky (zejména teplota) na počátku. Teplota, délka světelné části dne, souhrn srážek a vlhkost prostředí určují nejen rychlost rozkladných procesů, ale také druhy, které se na odbourávání těla budou podílet a v jakém počtu.

Např. rozklad s počátkem na konci zimy až na jaře ovlivňuje střídání nižších a vyšších teplot jak mezi dnem a nocí, tak mezi jednotlivými dny, a prodlužující se délka dne. Aktivita a četnost hmyzu závisí na způsobu přezimování a toleranci vůči nízkým teplotám – např. bzučivky *Calliphora vicina* a *C. vomitoria* přezimují i jako dospělci a jsou odolné k nízkým teplotám nad 2 °C, resp. 3 °C, proto lze jejich aktivitu zaznamenat již na konci zimy. Naproti tomu dospělci rodu *Lucilia* se líhnou až na jaře, takže jejich činnost stoupá koncem jara a v letních měsících. Skutečnost, že na jaře mají na začátku expozice relativně nízké zastoupení bzučivky, celkově zpomaluje počáteční proces odbourávání měkkých tkání a trvání sukcese se prodlužuje (obr. 8). S delší sukcesí a pomalejším úbytkem měkkých tkání se zvyšuje počet druhů, které se na rozkladu budou podílet (obr. 7).

Expozici mrtvého v letním období definují zpravidla vyšší teplota, hlavně však vysoká aktivita a četnost hmyzu. Za takových podmínek je počáteční rozklad velice rychlý. Činností bzučivek dochází k rozkladu většiny měkkých tkání řádově v několika dnech. S ohledem na neuvěřitelnou rychlost procesu tak nastává situace, že na mrtvole a pod ní jsou plně aktivní druhy první a druhé fáze – bzučivky a mouchovití, a na odhalených kostech najdeme již druhy třetí fáze (obr. 6). V podstatě dochází téměř k souběhu generačních cyklů druhů z několika sukcesních fází. Následuje zpomalení, kdy jen pozvolna probíhá odbourávání zbytků měkkých tkání následujícími skupinami nekrosprofágů. Sukcese s počátkem na konci jara a v létě má nejkratší dobu trvání (obr. 9 a 10).

Pro počátek sukcese na podzim a v zimě je typická rozdílná dynamika rozkladu v závislosti na měnících se teplotách a srážkách. Přes všeobecné mínění mnoho druhů nebo jejich larvy zůstávají aktivní i přes chladnou část roku. Larvy sýrohlodek, slunílek, ale také kmitalek, drabčičků a dalších se udržují pod degradovanou vrstvou tkání aktivní i v zimě a dokáží využít každého okamžiku, kdy se zvýší teplota řádově nad 0 °C. Je však nezbytné mít na paměti, že v období nízkých teplot sehrává roli také diapauza (zpomalení životních pochodů přes nepříznivé období) a krátká světelná část dne, které ovlivňují trvání, resp. pravdivost generačních cyklů, a tím rovněž jejich interpretaci.

Průběh kolonizace je předvídatelný pro každý typ prostředí, proto jakékoli vybo-



čení z normálu zpravidla indikuje vnější zásah do průběhu sukcese, ať již přesun mrtvého, dodatečné zakrytí, zakopání, nebo naopak vyhrabání zvířaty, případně užití inhibitorů, např. chemikálií, zabalení apod.

Stanovení doby kolonizace

Základem stanovení doby kolonizace je znalost délky vývojových cyklů jednotlivých druhů a zákonitostí sukcese. Délka vývojového cyklu druhu bývá obvykle definována sumou efektivních teplot (SET), která se zjišťuje experimentálně a představuje součet efektivních teplot určitého druhu za celé období vývoje. Efektivní teplota je aktuální teplota snižená o dolní teplotní hranici daného druhu, tedy teplotu, při níž se jeho vývin zastavuje. Uvádí se v denních, nebo hodinových stupních a zůstává pro každý druh v určité oblasti konstantní. SET vychází z předpokladu, že rychlost vývinu celé generace závisí na teplotě prostředí, kdy platí nepřímá úměra – při vyšších teplotách je vývojový cyklus kratší a při nižších delší. Současně musíme brát v úvahu další faktory – vlhkost, délku fotoperiody, množství potravy aj., které rovněž mohou ovlivnit délku generačního cyklu. Z praktického hlediska narážíme na problém, že při množství druhů, jež se na rozkladu podílejí, zdaleka neznáme SET pro všechny z nich.

Při krátkodobé expozici, když je tělo objeveno ještě před dokončením vývojových cyklů prvních kolonizátorů, lze na základě znalosti zastoupených druhů, jejich SET a průběhu teplot před nálezem mrtvoly stanovit počátek kolonizace s přesností na den, ve výjimečných případech až na hodiny. V podmínkách střední Evropy můžeme tento přesný výpočet zpravidla udělat během prvních 3–6 týdnů expozice. Tak přesné stanovení, po tak dlouhou dobu, neumožňuje v současnosti žádná jiná metoda. Po tomto intervalu již došlo k ukončení vývinu prvních generací – svědčí o tom nálezy prázdných puparií. Proto je u starších nálezů nezbytné provést komplexní analýzu zajištěného hmyzu, jeho druhového složení v návaznosti na fázi rozkladu, jak jsme si popsali u sukcese. Hodnotí se jak přítomnost, tak absence druhů, přítomnost nižších vývojových stadií, jejich četnost atd. Opět pomocí SET lze do jisté míry odvodit počet generací zjištěných druhů. Přesto platí, že čím je doba expozice delší, tím přesnost stanovení postupně klesá na určitý týden, měsíc nebo čtvrtletí, stále je ale přesnější než soudně lékařské metody. U nálezů odpoví

13 Larvy slunílek (*Fanniidae*), především druhu *Fannia scalaris*. V rozbředlé hmotě lze zaznamenat larvy několika instarů i podlouhlá vajíčka.

14 Samička bzučivky *Lucilia caesar*, u nás jeden z nejběžnějších prvních kolonizátorů na mrtvém těle člověka. Tento druh je semiheliofilní, proto preferuje křovinatá stanoviště. Nalézáme ho převážně na mrtvých v zahradách, městských parcích, na rumišťích apod.

15 Vosa požírající vajíčka bzučivek. Vosa a mravenci se na počátku rozkladu chovají jako nekrofágové, kteří se živí přímo tkáněmi. Jak rozklad postupuje, využívají stanoviště k lovu ostatního hmyzu. Všechny snímky H. Šulákové

dajících 1–2 letům můžeme určit, že jde o mrtvého z letošního nebo z loňského roku. U nálezů starších než dva roky expozice často nelze stanovit přesnější počet uplynulých let.

Závěrem

Od dob P. Mégnina doznala forenzní entomologie podstatných změn. Byly doplněny poznatky o hmyzu, průběhu sukcese a o faktorech, které degradační procesy ovlivňují. V návaznosti se zpřesnily i výstupy znaleckých zkoumání. Jako každý obor má však i forenzní entomologie stále svá omezení, nejasnosti a neprobádané oblasti. Proto není překvapením, že každý další experiment a další případ přináší něco nového, neočekávaného nebo výjimku potvrzující pravidlo. A tak přes všechny naše znalosti a chápání zákonitostí přírody máme pořád co objevovat, vždyť *Mors principium est!*

Citovanou literaturu uvádíme na webové stránce Živý.